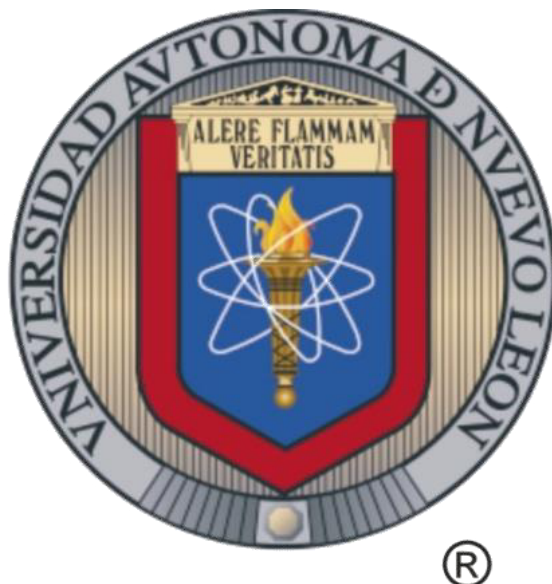


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS DE FRUTOS DE TORONJA  
(*Citrus paradisi* Macf) EN DESARROLLO**

**PRESENTA**

**HÉCTOR ROJAS PÉREZ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**JULIO, 2017**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS DE FRUTOS DE TORONJA  
(*Citrus paradisi* Macf) EN DESARROLLO**

**PRESENTA**

**HÉCTOR ROJAS PÉREZ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**GENERAL ESCOBEDO, NUEVO LEÓN**

**JULIO, 2017**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS DE FRUTOS DE TORONJA  
(*Citrus paradisi* Macf) EN DESARROLLO**

**PRESENTA**

**HÉCTOR ROJAS PÉREZ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

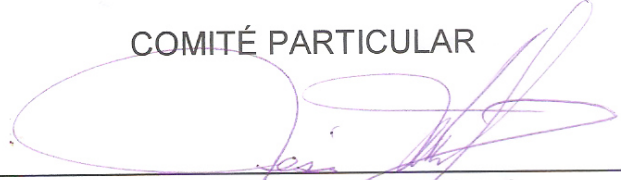
**GENERAL ESCOBEDO, NUEVO LEÓN**

**JULIO, 2017**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL  
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

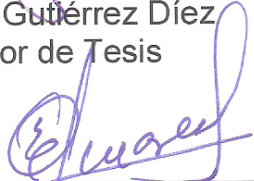
COMITÉ PARTICULAR



Dr. Jesús Martínez de la Cerda  
Director de Tesis



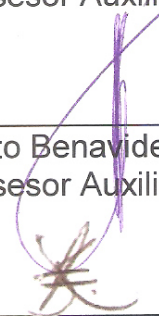
Dra. Adriana Gutiérrez Díez  
Co Director de Tesis



Ph. D. Emilio Olivares Sáenz  
Asesor Auxiliar

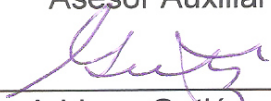


Dra. Juana Aranda Ruiz  
Asesor Auxiliar



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor Auxiliar

Ph. D. Alejandro Isabel Luna Maldonado  
Asesor Auxiliar



Dra. Adriana Gutiérrez Díez  
Subdirectora de Estudios de Posgrado

## DEDICATORIA

A Dios, creador por darme salud y fortaleza para concluir mis estudios de doctorado.

A mis padres Antero M. Rojas Rocha y M. Josefina Pérez Zamora que me dieron la vida y las fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanos y hermanas, por su incondicional apoyo en esta etapa de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por haberme aceptado en el programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme otorgado puntualmente el apoyo económico durante la estancia en la realización de mis estudios de posgrado.

Mi agradecimiento al Dr. Jesús Martínez de la Cerda, por darme la oportunidad de realizar la presente investigación bajo su supervisión como asesor, maestro y amigo. A mi comité de tesis, la Dra. Adriana Gutiérrez Díez, Ph. D. Emilio Olivares Sáenz, Dra. Juana Aranda Ruiz, Ph. D. Alejandro I. Luna Maldonado y al Dr. Adalberto Benavides Mendoza por sus valiosas sugerencias y apoyo incondicional para realización y la revisión de la presente investigación.

A la Dra. Erika Nohemí Rivas Martínez del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por su colaboración para llevar a cabo los análisis de carbohidratos.

A mis maestros por los consejos, conocimientos y enseñanzas que me brindaron durante el doctorado.

Al personal de campo y laboratorio por brindarme todas las facilidades necesarias para concluir este trabajo.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICE .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
SUMMARY .....	xviii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
1.2. Hipótesis .....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Comportamiento de los carbohidratos en los cítricos .....	6
2.2. Cuajado de frutos .....	7

	Página
2.2.1. Factores que influyen en el cuajado de frutos.....	8
2.2.1.1. Factores Endógenos.....	8
2.2.1.1.1. Disponibilidad de carbohidratos..	8
2.2.1.1.2. Control hormonal.....	10
2.2.1.2. Factores Exógenos.....	13
2.2.1.2.1. Temperatura y humedad relativa	13
2.3. Estímulo del cuajado.....	14
2.3.1. Aplicación de Giberelinas.....	14
2.3.2. Anillado de ramas.....	15
2.3.3. Aplicación de urea foliar.....	18
2.4. Abscisión de frutos.....	19
2.5. Crecimiento y desarrollo del fruto.....	22
2.5.1. Estados de desarrollo.....	22
3. MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1. Condiciones generales del experimento.....	24
3.1.1. Ubicación del experimento.....	24
3.1.2. Material biológico.....	24
3.1.3. Diseño experimental.....	24
3.1.4. Condiciones de suelo.....	27
3.1.5. Riego y calidad del agua.....	27
3.1.6. Labores culturales.....	27
3.1.7. Control de plagas y enfermedades.....	28



	Página
3.2. Medición de variables.....	28
3.2.1. Diámetro (mm), número y peso (g) de frutos.....	28
3.2.2. Porcentaje de jugo (%).....	28
3.2.3. Relación °Brix-Acidez <sup>-1</sup> .....	28
3.2.4. Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ).....	29
3.2.5. Análisis de contenido de carbohidratos en frutos (mg g <sup>-1</sup> ps) .....	30
3.3. Análisis estadísticos.....	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Características externas del fruto.....	34
4.1.1. Diámetro de frutos (mm).....	34
4.1.2. Número de frutos.....	35
4.1.3. Peso de frutos.....	38
4.1.4. Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ).....	39
4.2. Características internas del fruto.....	40
4.2.1. Porcentaje de jugo (%).....	40
4.2.2. Relación °Brix-Acidez <sup>-1</sup> .....	41
4.3. Concentración de carbohidratos en frutos (mg g <sup>-1</sup> ps).....	44
4.3.1. Fructosa.....	44
4.3.1.1. Fructosa 30 días después de antesis (dda)...	44
4.3.1.2. Fructosa 60 dda.....	46
4.3.1.3. Fructosa 90 dda.....	48

4.3.2.	Glucosa.....	49
4.3.2.1.	Glucosa 30 dda.....	49
4.3.2.2.	Glucosa 60 dda.....	52
4.3.2.3.	Glucosa 90 dda.....	53
4.3.3.	Sacarosa.....	55
4.3.3.1.	Sacarosa 30 dda.....	55
4.3.3.2.	Sacarosa 60 dda.....	55
4.3.3.3.	Sacarosa 90 dda.....	58
5.	CONCLUSIONES.....	63
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
7.	ANEXO.....	73

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Temperaturas, precipitación y humedad relativa (2014).....	73
2	Análisis de suelo (2014).....	73
3	Análisis de agua (2014).....	74
4	Materiales y equipo.....	75

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de diámetro de frutos (mm), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	34
2	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de diámetro de frutos (mm) en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	35
3	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	36
4	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles sin aplicación de urea (Testigo: T) y árboles con aplicación de urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	36
5	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles sin aplicación, (Testigo: T) con aplicación de ácido giberélico (GA <sub>3</sub> ) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	38
6	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de peso de frutos (g), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	38
7	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de peso de frutos (g), en árboles sin aplicación (Testigo: T), con aplicación de urea (U) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	39
8	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	39

Figura	Contenido	Página
9	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ), en árboles sin aplicación (Testigo: T), con aplicación de ácido giberélico ( $GA_3$ ) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	40
10	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), del porcentaje de jugo en frutos (%), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	41
11	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de porcentaje de jugo en frutos (%), en árboles sin aplicación de urea (Testigo: T) y árboles con aplicación de urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	41
12	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la relación °Brix-Acidez <sup>-1</sup> del jugo de toronja, en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	42
13	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la relación °Brix-Acidez <sup>-1</sup> del jugo, en árboles testigos (T), con ácido giberélico ( $GA_3$ ) y anillado (A) del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	43
14	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la relación °Brix-Acidez <sup>-1</sup> del jugo, en árboles testigos (T), con urea (U) y anillado (A) del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	44
15	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $mg\ g^{-1}\ ps$ ) a 30 días después de antesis (dda), sin (Testigo: T) y con aplicación de Ácido giberélico ( $GA_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	45
16	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $mg\ g^{-1}\ ps$ ) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	45

Figura	Contenido	Página
17	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 30 días después de antesis (dda), testigo (T), anillado (A) y ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	46
18	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 60 días después de antesis (dda) en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	47
19	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (on) y escasa cosecha (off), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	48
20	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	48
21	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), sin (Testigo: T) y con aplicación de ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	49
22	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	50

Figura	Contenido	Página
23	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en fruto ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), testigo (T) y anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	51
24	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles testigos (T), anillados (A) y con urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.	51
25	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) en frutos a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	52
26	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (off), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	53
27	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), testigo (T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	53
28	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), testigo (T) y con ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	54
29	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de la concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), testigo (T) y con Ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	55
30	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	56

Figura	Contenido	Página
31	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a los 60 días después de antesis (dda), en árboles sin anillado (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.	57
32	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin anillado (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	58
33	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	59
34	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles sin anillado (Testigo: T) y con anillado(A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.	60
35	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles sin ácido giberélico (Testigo: T) y con ácido giberélico( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.....	61
36	Comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$ ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin ácido giberélico (Testigo: T) y con ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.	62



## INDICE DE APÉNDICE

Cuadro	Contenido	Página
1	Temperatura, precipitación y humedad relativa del 2014.....	73
2	Análisis de suelo.....	73
3	Análisis de agua.....	74
4	Equipo y materiales.....	75

## **RESUMEN**

La alternancia de cosecha se presenta en la mayoría de los árboles frutales, siendo diferente entre especies e incluso variedades de frutales. La alternancia es un problema económico en la industria citrícola de todo el mundo, en el cultivo de toronja variedad Río Red, provoca una inestabilidad en los precios y rendimientos anuales erráticos. Cuando se presenta una producción elevada (año "on"), los frutos cosechados obtienen precios bajos como resultado de su tamaño pequeño y sobreproducción. En cambio, en una producción escasa (año "off"), la fruta es grande y de mala calidad, con mayor número de frutos con corteza gruesa (sheepnose) y el rendimiento neto para el productor es bajo porque hay pocos frutos. La alternancia está directamente relacionada con el cuajado de frutos, y este a la vez con la disponibilidad de carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa) para los frutos en desarrollo, carbohidratos que son utilizados para la biosíntesis y suministro de energía, por lo tanto es necesario investigar las técnicas que ayuden a incrementar las concentraciones de carbohidratos en los frutos de toronja (variedad Río Red) en desarrollo y que disminuyan la alternancia de cosecha.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la concentración de carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa) en frutos de toronja a los 30, 60 y 90 días después de antesis (dda), en un ciclo de producción en respuesta al anillado de ramas, aplicación de ácido giberélico ( $GA_3$ ) y urea foliar, así como su efecto en el rendimiento, calidad de fruta y alternancia de cosecha. El análisis de

carbohidratos, se realizó por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Además, se analizó el rendimiento y calidad de fruto de toronja en respuesta al anillado de ramas, aplicación de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y urea foliar.

El estudio se realizó en una huerta de toronja ubicada en la hacienda “Las Anácuas” del Municipio de General Terán N.L, México, con coordenadas geográficas: 25° 18′ 38″ latitud norte y 99° 35′ 25″ longitud oeste y una altitud de 217 msnm. La huerta de toronjo en estudio (*Citrus paradisi* Macf) pertenece a la variedad Río Red, injertado sobre patrón agrio (*Citrus aurantium* L.), con 17 años de edad, a una densidad de plantación de 250 árboles por hectárea (8 m entre hileras y 5 m entre árboles).

Las aplicaciones de urea foliar incrementaron el número de frutos y el porcentaje de jugo, pero disminuyó su tamaño y retrasó su maduración. Las concentraciones más altas de carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa), se presentaron en frutos de árboles con cosecha escasa (“off”). El anillado de ramas más la aplicación de ácido giberélico, incrementaron la concentración de fructosa y glucosa en los primeros 30 días de su desarrollo. Las aplicaciones de ácido giberélico incrementaron las concentraciones de carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa) en frutos de toronja, a los 90 días de su desarrollo. Los tratamientos no disminuyeron la alternancia de cosecha.

**Palabras claves:** carbohidratos, cuajado, abscisión, toronja.

## **SUMMARY**

Harvest alternating occurs in most fruit trees, being different between fruit species and even varieties. Alternating is an economic problem in the citrus industry around the world, in grapefruit variety Rio Red, causes instability in prices and erratic annual yields. When high production occurs (year "on"), harvested fruits obtain high yields but low prices as a result of their small size and overproduction. On the other hand, in a low production (year "off"), the fruits are large, but poor quality, with an increased number of sheeplike fruits and the net yield for the producer is low because there are few fruits. The alternating is affected by the fruit set, and is related to the availability of carbohydrates (glucose, fructose and sucrose) for the developing of fruits. Carbohydrates that are used for biosynthesis and energy supply, therefore it is necessary to investigate the techniques that help increase the carbohydrate concentrations in grapefruits (variety Rio Red) in development in order to decrease alternating of harvest.

The objective of this research is to evaluate the content of carbohydrates (glucose, fructose and sucrose) in fruits of grapefruit in a production cycle in response to girdling branches, application of gibberellins and foliar urea, as well as its effect on yield, fruit quality and harvest alternating. The analysis of carbohydrates, was performed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The variables that were analyzed are; growth, development, yield and fruit quality of grapefruit in response to girdling, application of gibberellins and foliar urea.

The study was conducted in a grapefruit grove located in the farm "Las Anacuas" in the municipality of General Teran N.L, Mexico, with geographic coordinates: 25°18' 38" north latitude and 99°35'25" west longitude and an altitude of 217 meters above sea level. The grove in study (*citrus paradisi* Mcf) belongs to the Rio Red variety, grafted on sour rootstock (*Citrus aurantium* L.), with 17 years and a planting density of 250 trees per hectare (8 m between rows and 5 m between trees).

Foliar applications of urea increased the number of fruits and juice percentage, but decreased its size and delayed its maturation. The highest concentrations of carbohydrates (fructose, glucose and sucrose), were obtained in trees with low harvest ("off"). Girdling branches plus the application of gibberellic acid increased the concentration of fructose and glucose in the first 30 days of its development. Gibberellic acid applications increased concentrations of carbohydrates (fructose, glucose and sucrose) in fruits, at 90 days of its development. The treatments did not decrease the alternating harvest.

***Index words:*** carbohydrates, fruit set, abscission, grapefruit.

## 1. INTRODUCCIÓN

La alternancia de cosecha se refiere a un patrón de producción irregular que está internamente regulada por la planta y puede conducir a irregularidades en el ingreso del productor. Los cítricos inician la formación de yemas florales de la próxima producción un ciclo anterior, y la alternancia de cosecha elevada ("on") y escasa ("off") es causada por la competencia entre la producción de la cosecha actual y los botones florales de la cosecha de la próxima temporada. La producción excesiva en el año "on" agota los nutrimentos, carbohidratos y almidón, necesarios para formar nuevos brotes reproductivos (Martínez *et al.*, 2012); sin embargo, hay pruebas que indican que las hormonas de las semillas producidas en los óvulos en desarrollo tienen un efecto inhibitorio directo sobre la iniciación floral (Martínez *et al.*, 2012). Esta secuencia de "on-off" normalmente sigue un patrón bianual. La variedad de toronja Rio Red es altamente susceptible a la alternancia, puede presentar dos años consecutivos "on" seguido de una cosecha escasa, o en ocasiones dos años "off" seguido de uno "on" (Martínez *et al.*, 2012). Si bien regulada internamente, la alternancia es a menudo provocada por factores externos (clima o manejo del cultivo). Una vez activado, la fluctuación es probable que continúe durante algunos años. La alternancia es un problema económico en la industria citrícola de todo el mundo, en una producción elevada (año "on"), debido a que los frutos cosechados obtienen precios bajos como resultado de su tamaño pequeño y sobreproducción (Martínez *et al.*, 2012). En cambio, en una producción escasa (año "off"), la fruta es generalmente

demasiado grande y de mala calidad, con un mayor número de frutos con corteza gruesa (sheepnose). El rendimiento neto para el productor es bajo en un año de cosecha "off", porque hay pocos frutos (Martínez *et al*, 2012). Por lo tanto, la alternancia de cosecha da lugar a inestabilidad de los precios y rendimientos anuales erráticos. La alternancia de cosecha en toronja (variedad Río Red), es un problema que se presenta en todo el mundo y está directamente relacionada con el cuajado de frutos, y este a la vez con la disponibilidad de carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa) para los frutos en desarrollo, ya que en esta etapa del fruto se producen cambios intensos en donde los azúcares son los sustratos preferidos para la biosíntesis y suministro de energía, la cual queda disponible para la biosíntesis de otros componentes (ácidos orgánicos, ácido ascórbico, proteínas, nucleótidos azucarados, glucósidos, etc.); además una reducción en el suministro de metabolitos durante el desarrollo temprano del fruto, puede desarrollar daños irreversibles en la capacidad de asimilación y reducir la tasa de crecimientos del fruto en estados posteriores, cuando el suministro no constituye un factor limitante, por lo tanto entre mayores concentraciones de carbohidratos estén presentes en los frutos al inicio del desarrollo, mayores serán las reservas disponibles y la probabilidad de alternancia se reduce (Guardiola y García-Luis, 2000).

Una técnica para incrementar las concentraciones de carbohidratos en frutos en desarrollo disminuyendo la alternancia de cosecha, es el anillado o rayado de ramas. El anillado de ramas consiste en eliminar parte de la corteza del tallo (2.0 a 5.0 mm) sin dañar el xilema y el rayado de ramas, no se elimina corteza, solo se realiza un rayado con navaja circular. El anillado de ramas en mandarina "Clemenules" (*Citrus reticulata* blanco), provoca la interrupción temporal del

transporte de foto-asimilados por el floema hacia las raíces y la acumulación de sustancias en la copa del árbol. Los cambios provocados en el balance endógeno de carbohidratos y elementos minerales, son considerados como la acción primaria del anillado que ayudan al cuajado y desarrollo del fruto (Rivas *et al.*, 2010).

El cuajado de frutos está directamente relacionado con la alternancia de cosecha en cítricos, el comportamiento alternante de toronja comprende una producción irregular a lo largo de los ciclos productivos. La fluctuación en el nivel de carbohidratos afecta el cuajado de frutos de toronja y el amarre de los mismos repercutiendo en la productividad del cultivo.

El anillado de ramas se utiliza también como una técnica para incrementar el cuajado de frutos, disminuyendo la alternancia de cosecha debido a que provoca la interrupción temporal del transporte floemático hacia las raíces y la acumulación de sustancias en la copa del árbol. Los cambios provocados en el balance endógeno de carbohidratos y elementos minerales, son considerados como la acción primaria del anillado sobre el cuajado y desarrollo del fruto.

La capacidad sumidero de los frutos, está regulada genéticamente y es específica para cada variedad. Durante la fase I de desarrollo del fruto la regulación genética es responsable del cuajado, facilitando el aporte de carbohidratos que garanticen la energía necesaria para atender a la división celular de los tejidos, mientras que en la fase II la regulación genética determina el tamaño final del fruto. En la primera el control corresponde a las giberelinas (GAs), por lo tanto, existen fuertes evidencias que soportan el hecho de que las GAs juegan un papel clave en el proceso de transición de flor a fruto a través de su estímulo como activadores de la división y crecimiento celular.



Existe evidencia que las aplicaciones de urea foliar en los meses de invierno en naranja 'Washington Navel' aumenta el cuajado, la producción, el número de frutos total y el número de frutos de tamaño comercial.

Se tiene la hipótesis que el incremento de floración es debido a un estrés producido a corto plazo por una concentración de amonio en los brotes o a factores de demanda nutricional.

La toronja (*Citrus paradisi* Macf) variedad Río Red tiene una gran importancia económica en el mundo debido a su demanda para el consumo fresco. Es una variedad de cosecha tardía que puede mantener frutos maduros en el árbol durante largos períodos sin perder sus cualidades organolépticas. Sin embargo, problemas de rendimiento y alternancia de cosecha, han disminuido su productividad. Por lo tanto, es importante realizar trabajos de investigación para disminuir la alternancia de cosecha mediante técnicas adecuadas y análisis de los niveles de carbohidratos de frutos de toronja en desarrollo.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar las concentraciones de carbohidratos en frutos de toronja en desarrollo, en un ciclo de producción en respuesta al anillado de ramas, aplicación de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y urea foliar.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las concentraciones de glucosa, fructuosa y sacarosa en frutos de toronja, a los 30, 60 y 90 días después de anthesis (dda), bajo las condiciones de anillado de ramas y en función de los tratamientos con GA<sub>3</sub> y urea foliar.

- Evaluar el efecto del anillado de ramas, aplicación de GA<sub>3</sub> y urea foliar en el rendimiento, calidad de frutos de toronja y la alternancia de cosecha.

## **1.2. Hipótesis**

El anillado de ramas, la aplicación de GA<sub>3</sub> y urea foliar incrementan las concentraciones de carbohidratos en frutos de toronja en desarrollo así como su rendimiento y calidad de frutos, disminuyendo la alternancia de cosecha.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Comportamiento de los carbohidratos en los cítricos**

La determinación del valor comercial de una cosecha de cítricos, el tamaño del fruto y la calidad del jugo constituyen los parámetros de mayor importancia los cuales están regulados por factores genéticos y ambientales. En relación al crecimiento del fruto, inicialmente y bajo condiciones favorables, su tasa depende de la acumulación de materia seca y agua, y luego de una fase de crecimiento exponencial este se limita básicamente por la incorporación de agua (Guardiola y García-Luis, 2000; García-Luis *et al.*, 2002).

Parte de la sacarosa en el fruto es metabolizada en el albedo y desde allí los azúcares reductores se difunden a las vesículas donde se acumulan. Esta hidrólisis de la sacarosa puede variar a medida que ocurre el crecimiento del fruto, metabolismo finalmente regulado por los niveles de carbohidratos en la planta (Li *et al.*, 2003, Rivas *et al.*, 2007).

En ambientes subtropicales, el contenido en carbohidratos de reserva en los cítricos fundamentalmente de almidón, alcanza en las hojas adultas un valor máximo al principio de la floración y se movilizan durante el desarrollo del fruto (Goldschmidt *et al.*, 1985). Sin embargo, las pautas de movilización de los carbohidratos de reserva en la planta varían con la especie, observándose desde una movilización gradual que se extiende desde antesis hasta el fin de la caída de frutos en junio (Sanz *et al.*, 1987), hasta un consumo rápido durante la post-

antes de la antesis que conduce a un mínimo en las reservas en un plazo de 4-6 semanas (Ruiz *et al.*, 2001; Laskowski, 2010).

En *Citrus sinensis* “Salustiana”, Almeida (2003) describe la pauta de movilización de los carbohidratos en la planta, observándose una rápida disminución de las reservas de carbohidratos presentes en raíces y hojas durante la floración, un aumento transitorio de estos niveles al inicio de la abscisión de los frutos y franca disminución hasta un valor mínimo al final del periodo de abscisión fisiológica, con lo cual la nutrición del fruto pasa a depender de la fotosíntesis más que de las reservas del árbol.

Laskowski *et al.* (2008) reporta que a partir de los 48 dda los frutos de naranja dulce (*Citrus sinensis* “Salustiana”) presentan un incremento en el contenido de carbohidratos solubles, coincidiendo inicialmente con el incremento en masa seca del pericarpio y después de 76 dda con el desarrollo de las vesículas. Al término del estudio se registró un 25% de carbohidratos reductores y 18.5% de sacarosa en frutos, principalmente en las vesículas, las cuales sustituyen al pericarpio como órgano de reserva.

La concentración de sacarosa expresada en porcentaje de materia seca del fruto de naranja (*Citrus sinensis* (L), se mantuvo prácticamente constante durante los primeros días después de antesis (21 dda), para incrementarse entre los 76 a 118 dda principalmente en la fracción vesicular (Laskowski, 2010).

## **2.2. Cuajado de frutos**

El cuajado es la fase del desarrollo que marca la transición de una flor (ovario) a un fruto que se desarrollará hasta la madurez. El cuajado está regulado por hormonas, específicamente por GAs (Guardiola and García-Luis, 2000; Talón *et*

*al.*, 1992). La deficiencia de GAs durante este periodo resulta en una caída masiva de ovarios, bajo cuajado de fruto y en una reducción de la cosecha (Talón *et al.*, 1992; Ben-Cheikh *et al.*, 1997).

El aporte hormonal para el cuajado del fruto en variedades partenocárpicas está referido al contenido hormonal de las paredes del ovario (Talón *et al.*, 1997). En algunos cultivares de mandarina Clementina y algunos híbridos, el cuajado de frutos partenocárpicos puede ser incrementado con la aplicación de GAs exógenas, lo que sugiere una deficiencia en los niveles endógenos de esta hormona (Guardiola and García-Luis, 2000).

El rol de las GAs en el cuajado del fruto en cítricos está generalmente aceptado, sin embargo en mandarina Satsuma así como en las naranjas del tipo Navel, la aplicación exógena de GAs solamente mostró un efecto transitorio en el crecimiento del fruto y retrasó la abscisión, pero no se obtuvo un aumento en la cosecha final (Talón *et al.*, 1997).

Las variedades con semillas cuajan con más facilidad que las que no tienen semillas, sin embargo en la mayor parte de las variedades de cítricos el número de flores formadas es suficiente para obtener una cosecha máxima. El número de flores producido por la planta llega a estar inversamente relacionado con el porcentaje de frutos finalmente cuajados (Becerra y Guardiola, 1984).

## **2.2.1. Factores que influyen en el cuajado de frutos**

### **2.2.1.1. Factores endógenos**

**2.2.1.1.1. Disponibilidad de Carbohidratos.** El cuajado y desarrollo inicial del fruto depende, entre otros factores, de los efectos de competencia establecidos entre el número de flores en desarrollo. En la mayor parte de las variedades en cultivo, el déficit de cuajado sólo se presenta cuando la planta florece mucho pero

también es posible encontrar cosechas reducidas cuando la planta florece muy poco. En el primer caso, es incapaz de nutrir a todos los ovarios que inician el desarrollo y la mayor parte de éstos se desprenden del árbol, reduciéndose significativamente la cosecha. En el segundo, la reducción del número de flores siempre está relacionada con un número muy elevado de frutos cosechados (alternancia de cosechas), la acción de éstos puede ser a través de un efecto nutricional, reduciendo la acumulación de reservas previa a la diferenciación floral, o a través de una inhibición de la floración provocada por la síntesis de GAs que tiene lugar en los frutos (Bellato *et al.*, 1998). La solución a ambos problemas es diferente y con eficacia, a su vez, distinta.

La floración de las plantas es consecuencia de un conjunto de factores promotores e inhibidores, la mayor parte de los cuales son desconocidos. Para que un cítrico florezca es necesario que estén presentes los factores promotores y al mismo tiempo, estén ausentes los factores inhibidores (Iglesias *et al.*, 2007). Ante la ausencia de los primeros la planta no florecerá, o tendrá poca floración, pero si algún factor inhibidor está presente el árbol tampoco florecerá. Bastará conocer, por tanto, alguno de los factores inhibidores y aplicarlo adecuadamente para reducir la floración. Esta es la razón por la que, en condiciones agronómicas, inhibir la floración resulta fácil, mientras que promoverla es difícil. Particularmente importante resulta el problema de la alternancia de cosechas, sobre todo en las variedades con semillas (Martínez, 2010). La síntesis de GAs que tiene lugar en las semillas se ha sugerido como el factor más importante responsable de la reducción de su floración tras un año de elevada cosecha. Algunas variedades sin semillas también presentan este problema; generalmente son variedades

seleccionadas a partir de otras que sí las poseían y de las que han heredado este carácter.

El aclareo de frutos en las primeras fases de su desarrollo y el rayado de ramas (Agustí *et al.*, 1992) son las técnicas más eficaces para incrementar la floración de los árboles alternantes hasta niveles compatibles con una buena cosecha. Cuando el rayado de ramas se efectúa entre 90 y 120 dda en naranjo dulce “Salustiana” con alto grado de alternancia, el número de flores puede aumentarse casi cuatro veces (Agustí *et al.*, 1992), reduciendo el efecto de alternancia, hasta casi anularse.

Pero mucho más frecuente resulta un exceso de flores. Este se presenta como consecuencia de cosechas reducidas. La ausencia de frutos es la causa de una falta de control de la floración, y el exceso de flores se traduce en una reducción de la cosecha que reinicia el ciclo. En estos casos, la intensidad de la competencia entre flores en desarrollo es responsable de la disminución del número de las que iniciaron el desarrollo, así como del reducido tamaño final del fruto. En estos casos, la intensidad de la competencia entre flores en desarrollo es responsable de la disminución del número de las que iniciaron el desarrollo, así como del reducido tamaño final del fruto (Agustí *et al.*, 1992).

Una prueba de este efecto de competencia la aporta la relación entre la intensidad de floración, el cuajado y la cosecha final. Con la reducción de la floración aumenta el cuajado inicial, es decir, el número de ovarios que inician el desarrollo como frutos, y el cuajado final o porcentaje de flores que acaban dando lugar a un fruto maduro. El número de frutos cosechados, por tanto, también aumenta (Agustí *et al.*, 1992).

**2.2.1.1.2. Control hormonal.** La actividad hormonal se ha explicado a través de la acción que ejercen algunas sustancias (hormonas) sobre la expresión de la información genética, la actividad enzimática y la funcionalidad de las membranas. El resultado final es consecuencia de la interacción entre todas ellas, unas promoviendo procesos, otras inhibiéndolos, y se traduce en el control del desarrollo (reguladores del desarrollo).

En el caso de los frutos, dicho resultado depende tanto de la biosíntesis por el propio fruto de diversas hormonas, como del transporte a él o de la exportación a otras partes de la planta, y su inactivación a través de su conjugación con otros compuestos o su catabolismo. En la mayor parte de los casos las hormonas se sintetizan en las semillas y ejercen su acción a través del desarrollo de ellas. La excepción más notable son los frutos partenocárpicos, pero también en ellos el desarrollo está regulado hormonalmente (Jordán y Casaretto, 2006).

La mayor parte de las hormonas relacionadas con el cuajado se encuentran en las semillas. En peras y mandarinas cuando se impide (mediante emasculación) la formación de éstas, el contenido en GAs de los frutos es menor que en aquellos que han desarrollado frutos normalmente. En el naranjo dulce, la polinización aumenta los niveles de GAs en los ovarios de variedades con semillas (Ben-Cheikh *et al.*, 1997; Borges *et al.*, 2009; Distefano *et al.*, 2011). El hecho de que variedades con una capacidad similar de cuajado, con y sin semillas, tengan contenidos, semejantes de GAs (Talón *et al.*, 1990) indica que estas hormonas son responsables del cuajado en los cítricos.

El mecanismo ha sido estudiado, comparativamente, en la mandarina ‘Satsuma’, una especie con esterilidad gamética masculina pero con un elevado grado de partenocarpia natural y por tanto de cuajado, en mandarina “Clementina”,



autoincompatible y con baja capacidad de partenocarpia (Talón *et al.*, 1992). La conclusión de los autores es que son las GAs endógenas las que controlan el desarrollo partenocárpico del fruto de las mandarinas “Satsuma y Clementina” (Gravina, 2007; Mesejo *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2012).

Los inhibidores del desarrollo actúan impidiendo el desarrollo del fruto esto es, provocando su abscisión. Como su presencia es general en todos los frutos, con semillas y sin semillas, su acción se entiende en interacción con los promotores, de modo que es el equilibrio entre ambos grupos de reguladores del desarrollo el que determina el cuajado y el desarrollo posterior del fruto (Mark, 2000; Gambetta *et al.*, 2011). Su evolución en el fruto de la mandarina “Satsuma” presenta un máximo en su concentración de auxinas totales a los 5-10 días después de la antesis, seguido hasta los 25-30 días de un descenso rápido y una pequeña recuperación antes del declive final (Takahashi *et al.*, 1995; Laskowski, 2010). El papel de las auxinas como sustancias que controlan la abscisión tiene aquí su reflejo al observar la caída fisiológica de los frutos; ésta se inicia 10 días después del máximo pico en la concentración de auxinas y alcanza su máxima intensidad 10-15 días después de que las auxinas hayan alcanzado su concentración más baja (Agustí *et al.*, 2001; Mesejo *et al.*, 2011). La evolución del contenido en ácido abscísico (ABA) presenta dos máximos, uno a los 5-7 días de la antesis y otro a los 30-35 días. Este incremento último, asociado al drástico descenso de la concentración de auxinas, antecede y debe ser la causa de la abscisión de frutos. Una relación causa-efecto entre concentración de ABA en los frutos y su abscisión se ha demostrado también para las clementinas. En variedades de mandarinas con semillas, en las que la caída fisiológica de frutos es inferior, la evolución de la concentración de auxinas es similar a la descrita, pero la de ABA

es muy baja a lo largo de toda la fase I de crecimiento del fruto (García-Papí y García-Martínez, 1984).

La capacidad sumidero de los frutos, está regulada genéticamente y es específica para cada variedad. Durante la fase I de desarrollo del fruto la capacidad sumidero del fruto es responsable del cuajado, facilitando el aporte de carbohidratos que garanticen la energía necesaria para atender a la división celular de los tejidos, mientras que en la fase II, esta capacidad sumidero del fruto determina el tamaño final del fruto. En la primera el control corresponde a las GAs, en la segunda son las auxinas las que se han mostrado más eficaces.

#### **2.2.1.2. Factores exógenos**

**2.2.1.2.1. Temperatura y humedad relativa.** El cuajado de frutos depende de la polinización, fertilización exitosa del ovulo y temperatura, junto con la humedad relativa juegan un papel muy importante para que se lleve a cabo dicho proceso.

La duración del período de floración está vinculada al régimen de temperaturas y humedad relativa del medio ambiente (Spiegel-Roy y Goldchmidt, 1996). Las altas temperaturas aceleran la antesis y acortan el período de floración, mientras que las bajas temperaturas conducen a un periodo de floración prolongado (Lovatt *et al*, 1984.; Bellows y Lovatt, 1989; Davenport, 1990). Por lo tanto, condiciones de temperatura pueden tener importantes consecuencias para las posibilidades de polinización y cuajado de los frutos. La temperatura también afecta a la actividad de las abejas, el principal polinizador de cítricos y la tasa de crecimiento de los tubos polínicos. Por otro lado, la combinación de las altas temperaturas y baja humedad relativa provoca la deshidratación de los granos de polen y por consecuencia no hay fecundación de los óvulos.

## 2.3. Estímulo del cuajado

### 2.3.1. Aplicación de giberelinas

Durante la época de reposo invernal, se puede recurrir al uso combinado, en años alternos, de ácido giberélico ( $GA_3$ ), (20-30 ppm), previos a la floración de un año “on” y de urea foliar (0.5% N) previos a la floración de un año “off”. Ambos tratamientos son un buen paquete para disminuir, en parte, los efectos que la alternancia de cosecha ejerce sobre la calidad de los frutos (Agustí *et al.*, 2003; Galván *et al.*, 2006).

Por otra parte, en los años de alta cosecha (años “on”), la aplicación de  $GA_3$  en naranja Valencia, no redujo la producción; sin embargo, produjo una redistribución de la floración aumentando la proporción de brotaciones florales con hojas (flores mixtas y campaneras). Éstas tuvieron mayor capacidad de cuajado y, los frutos procedentes de las mismas, mayor calibre que los procedentes de brotaciones sin hojas. Consecuencia de ello, el  $GA_3$  no redujo la producción de los años “on”, pero incrementó el peso medio de los frutos, aumentando la producción frutos con calibres comerciales (Greenberg *et al.*, 1994).

La aplicación en noviembre de  $GA_3$  (10 ppm) en solución ácida a la variedad “Mineola” redujo en un 15% la producción del año siguiente (Greenberg *et al.*, 1994). Esta reducción se atribuyó al hecho de haber realizado la aplicación durante la época de iniciación floral.

En Australia, dos aplicaciones de  $GA_3$  a 25 ppm, separadas una de otra por tres semanas y realizadas, en un experimento, entre abril y mayo (octubre-noviembre en el Hemisferio N), y en otro, entre junio y julio (diciembre-enero en el Hemisferio N) previos a una floración “on”, redujeron parcialmente la floración y el número de frutos de ese año en un 22% y aumentaron la producción del año siguiente (“off”)

un 58 y 228% respectivamente. Para Moss y Bevington (citado por Agustí, 2003), todos los tratamientos redujeron la cosecha del año “on” pero solo algunos eliminaron prácticamente la alternancia. En conjunto, la producción media de los dos años aumentó un 16 y 17% lo que representaba un aumento en la producción de 24 a 34 kg por árbol. La única característica del fruto que quedó afectada fue el color de los frutos presentes en el árbol en el momento del tratamiento, pues el GA<sub>3</sub> produjo reverdecimiento. El tamaño medio de los frutos tratados con GA<sub>3</sub> aumentó en el año “on” y tuvieron en los dos años consecutivos un mayor número de frutos dentro de los rangos de calibre más comerciales, recomendando, en definitiva, esta práctica como método para reducir la alternancia (Moss y Bevington citado por Agustí 2003; Guardiola *et al.*, 2006).

### **2.3.2. Anillado de ramas**

Una técnica para disminuir la alternancia de cosecha es el anillado de ramas, práctica cultural consistente en marcar un anillo completo en la corteza de las ramas secundarias del árbol de aproximadamente, 3 a 5 mm de anchura, sin afectar a la madera, eliminando la corteza. Aunque se ha señalado un efecto hormonal derivado del anillado, se acepta que su acción prioritaria es a través de una mejora en la disponibilidad de carbohidratos como consecuencia de la interrupción que provoca sobre el transporte floemático (Goldschmidt *et al.*, 1985). El anillado de ramas provoca la interrupción temporal del transporte floemático hacia las raíces y la acumulación de sustancias en la copa del árbol. Los cambios provocados en el balance endógeno de carbohidratos y elementos minerales, han sido considerados como la acción primaria del anillado sobre el desarrollo del fruto. Pero el efecto logrado no puede explicarse en términos de alteraciones en el transporte y disponibilidad de nutrientes, exclusivamente, sino también cambios

en GAs, auxinas y citokininas (Dann *et al.*, 1985) han sido señalados por acción del anillado. La concentración de estas sustancias aumenta en la zona del árbol situada por encima del anillado, aumentando de este modo la importancia de las hojas como fuente de estos metabolitos, favoreciendo así el desarrollo del fruto. La coincidencia en la época de mayor sensibilidad del fruto al anillado y a la aplicación de auxinas de síntesis, sugiere que la acción del anillado sobre el tamaño final del fruto es a través de un efecto hormonal (Agustí y Almela, 1991). La mandarina “Fortune” es una variedad autoincompatible y forma parte del grupo de mandarinas poco receptivas a las aplicaciones exógenas de GAs para promover el cuajado, al menos en las condiciones climáticas mediterráneas. Agustí y Almela, (1989) manifiestan que el porcentaje de flores que alcanza el estado de fruto es elevado, pero su crecimiento posterior es muy lento y la mayor parte de ellos no superan el período de abscisión y se desprenden de la planta durante la fase I de su desarrollo. En estas condiciones, la producción de la mandarina “Fortune” puede mejorarse cuando el anillado se efectúa 15 días antes de la antesis en las parcelas de baja productividad, ó 25 días después de la caída de pétalos, en cualquier parcela con independencia de su productividad (Agustí *et al.*, 1997).

El efecto más claro del rayado es la detención temporal o retraso de la abscisión. Es lógico que cuando se efectúa en plena caída fisiológica de frutos esto es, a los 25 días de la caída de pétalos, se presentan los mejores resultados ya que en este momento una parte importante de los frutos en desarrollo ya se han desprendido de la planta y de los que quedan retenidos en ella un porcentaje elevado consigue superar la fase I de su desarrollo (durante la que se produce la

abscisión), cuya duración se ha establecido en unos 65 días desde la antesis (Mehouachi *et al.*, 1995).

Mehouachi *et al.* (1995) ha demostrado en sus experimentos de defoliación que la movilización de carbohidratos desde las hojas viejas a los frutos jóvenes es esencial para el desarrollo de éstos. Sus resultados son coincidentes con la idea de que la restricción en la disponibilidad de carbohidratos por los frutos en desarrollo, consecuencia de una elevada competencia en aquellos árboles que florecen muy profusamente, es la causa de su abscisión masiva y la falta de productividad. De este modo puede explicarse por qué el anillado mejora el cuajado ya que, de acuerdo con el concepto más ampliamente aceptado, éste se ha relacionado con cambios en el transporte y acumulación de carbohidratos (Mehouachi *et al.*, 1995).

Agustí *et al.* (1997) sugiere que el efecto del anillado sobre el transporte y distribución de carbohidratos requiere un tiempo para manifestar su actividad, que alcanzaría hasta la caída de pétalos, momento en que se lograría su acción plena. El hecho de que la respuesta al anillado 15 días antes de la antesis sólo se presente en las parcelas improductivas apoya esta hipótesis, ya que es en éstas en las que se establece la mayor competencia entre órganos en desarrollo. Estas parcelas son las que florecen con mayor profusión, como lo demuestra la relación inversa encontrada entre floración y fructificación. La acción del anillado alterando el contenido endógeno de GAs y auxinas (Dann *et al.*, 1985) puede ser la razón que explica su acción cuando se efectúa en esta época.

Al igual que en el caso de las aplicaciones de GA<sub>3</sub>, el anillado de ramas en condiciones extremas de elevada floración es incapaz de promover el cuajado, lo que indica que es la elevada competencia entre órganos en desarrollo la causa de

la escasa capacidad de cuajado de estas plantas. En estas condiciones, la disponibilidad del fruto por carbohidratos se halla tan comprometida que mejorarla es prácticamente imposible y por eso el anillado de ramas resulta ineficaz. También en este caso la reducción de la floración se hace necesaria, para aumentar el cuajado (Agustí *et al.*, 2000).

La aplicación del anillado de ramas a plantas en buen estado y con una floración adecuada, tiene una respuesta general en todas las variedades ensayadas. Así, en el naranjo dulce "Navelate" se han conseguido incrementos del 30% en el número de frutos recolectados. Pero más espectacular resulta su acción en mandarinas; en las "Clementinas" se han logrado incrementos de hasta el 130%, y en los híbridos "Ellendale" y "Fortune" el número de frutos cosechados ha sido multiplicado. Como consecuencia del incremento en el número de frutos por árbol, el tamaño medio de éstos se ve reducido, pero dado que la cosecha que se obtiene con el anillado puede considerarse adecuada el tamaño de los frutos, en general, también lo es. Y en todo caso, es posible aumentar éste mediante técnicas específicas.

Gaete *et al.*, (2007) reportan que el rayado de ramas en Clementinas (*Citrus clementinas* Blanco) aumenta la relación azúcar-acidez.

### **2.3.3. Aplicación de urea foliar**

La aplicación de urea foliar (0.5% de N) en los meses de otoño - invierno aumentó la floración y producción de naranjas (Albrigo, 1999) y clementinas (El-Otmani *et al.*, 1998). En "Washington Navel" aumentó el cuajado, la producción, el número de frutos total y el número de frutos de tamaño comercial durante tres años consecutivos, de los que dos fueron "on" y uno "off" (Ali y Lovatt, 1994). La

aplicación de urea foliar en prefloración, permitió mejorar la carga de frutos sin afectar el tamaño de los mismos, tanto en mandarinas cv “Okitsu” como en naranja cv “New Halli” bajo las condiciones climáticas de la zona central de Santa Fe, Argentina (Pilatti *et al.*, 2009). Para Lovatt *et al.* (1984), el incremento de floración es debido a un estrés producido a corto plazo por una concentración de amonio o urea en los brotes y factores de demanda nutricional.

Aplicaciones de urea (28-31 kg N/ha) a árboles de la variedad “Valencia Late” realizadas a principios de invierno, aumentaron el número de flores, la producción y el contenido en sólidos solubles del zumo (Albrigo, 1999).

Igualmente se han realizado experimentos que combinan los tratamientos de aumento de floración de un año "off" con los tratamientos de reducción de la misma en un año "on": Ácido giberélico a una concentración de 20-25 ppm aplicado en invierno durante la época de iniciación y diferenciación floral redujo la floración, mientras que la aplicación de urea en esta misma época, la aumentó. (El-Otmani y Lovatt, 2004).

Para Benhamou *et al.* (2004) es también una buena estrategia de control de la alternancia de la producción de la clementina “Nour” el uso combinado de GA<sub>3</sub> y urea en años consecutivos "on" y "off" respectivamente. El GA<sub>3</sub> a 25 o 50 ppm aplicados a finales de enero previo a un año con floración "on" redujo la misma en un 30 y 50% respectivamente, mientras que la producción de brotes vegetativos aumentó.

## **2.4. Abscisión de frutos**

La abscisión es un proceso selectivo que es afectado por las características de las flores / frutos. Los frutos pequeños que presentan una menor velocidad de crecimiento son los de mayor probabilidad de caer del árbol, aunque esta relación



entre vigor y abscisión no es estricta, y con frecuencia frutos de elevado vigor presentan una reducción brusca en su velocidad de crecimiento, que precede a su abscisión (Ruiz y Guardiola, 1994; Herrero, 2001). En árboles de cítricos, se distinguen dos ondas de abscisión sucesivas que afectan la floración y el desarrollo de los frutos pequeños, aunque en algunos casos la abscisión se presenta como un proceso continuo que alcanza un valor máximo entre 6 y 8 semanas después de la floración y se completa alrededor de 12 semanas después de su inicio (Bangerth, 2000). La primera onda induce masivamente la abscisión de flores y ovarios, mientras que la segunda, reduce el número de frutos que ya presentan un crecimiento significativo, durante la caída de frutos en junio (Goldschmidt, 1999; Pérez y Jiménez, 2009).

La abscisión es el resultado de una compleja combinación entre factores nutricionales y señales hormonales (Gorden, 1993; Talón *et al.*, 1997; Rivas *et al.*, 2010). Los factores nutricionales actúan como factores limitantes que afectan al crecimiento provocando su abscisión, mientras que el componente hormonal actúa como regulador de los procesos involucrados en la abscisión. En naranjas, se ha sugerido un aumento en la abscisión del fruto por estimulación directa o indirecta en la producción de etileno, seguido por una secuencia de eventos que involucran: la iniciación en la expresión de genes de la celulasa y poligalacturonasa, síntesis *de novo* de enzimas hidrolíticas en las zonas de abscisión del fruto, degradación de polímeros de la pared celular y finalmente separación de órganos (Gorden, 1993; Kazokas y Burns, 1998).

La abscisión por el pedicelo no parece estar relacionada con la disponibilidad de carbohidratos, ya que esta ocurre cuando las reservas de carbohidratos en el árbol se mantienen altas (Ruiz y Guardiola, 1994). Esta abscisión está precedida

por una reducción en la tasa de crecimiento. La disminución en el transporte de carbohidratos al parecer se debe a una baja capacidad de sumidero, más que a la limitación en la fuente.

Trabajos realizados por Iglesias y Tadeo (2006), con anillado en mandarina Satsuma, plantean la existencia de una correlación entre el contenido en carbohidratos, la producción de etileno y la abscisión del fruto por la base del pedicelo. Estos autores sugieren que las condiciones que determinan niveles altos de azúcares (anillado de ramas) incrementan el contenido en carbohidratos, disminuyen la producción de etileno y tasa de abscisión y que una condición opuesta (anillado del pedicelo) reduce la disponibilidad de carbohidratos e incrementa el etileno y la abscisión. Aunque no encontraron evidencias claras del papel regulador del etileno, sugieren que el contenido en carbohidratos y el etileno liberado son dos componentes principales de los procesos de abscisión por esta zona.

La abscisión posterior del fruto es principalmente determinada por factores nutricionales tales como fotoasimilados (Mehouachi, 1995; Iglesias, 2003). En este período, la tasa de acumulación de materia seca del fruto excede la capacidad fotosintética de las hojas de la inflorescencia. En efecto, se establece una competencia por los carbohidratos disponibles en el resto de la planta, con un consiguiente agotamiento de las reservas. El nivel de sacarosa en las hojas cae a valores bajos, demostrando una limitación en el suministro de carbohidratos (Ruiz *et al.*, 2001). La disminución en la abscisión de frutos durante este período, cuando la disponibilidad de carbohidratos fue incrementada por un aumento en la fotosíntesis o por anillado, refuerza la hipótesis de que la abscisión está relacionada con la competencia entre frutos por carbohidratos. La abscisión en

relación con el déficit de carbohidratos que se presenta por la competencia entre sumideros (fruto-fruto), ha sido explicada por Gómez–Cadenas *et al.* (2000), refiriéndose a un incremento en los niveles de ABA y Ácido amino ciclopropano (ACC, precursor del etileno), y a una mayor liberación de etileno.

## **2.5. Crecimiento y desarrollo del fruto**

### **2.5.1. Estados de desarrollo**

El modelo de crecimiento de frutos cítricos presenta una curva sigmoideal simple, descrito por Burns *et al.* (1992) para la variable peso fresco en frutos de naranjo. Guardiola y Lázaro (1987), en frutos de mandarina Satsuma (*Citrus unshiu* Marc), encontraron el mismo tipo de curva.

Este modelo se presenta desde la antesis hasta la maduración y en él se distinguen tres fases: la fase I se caracteriza por un aumento en grosor del pericarpio como resultado de una alta división celular; esta fase es considerada como de crecimiento exponencial y se inicia desde antesis hasta la caída fisiológica del fruto; la fase II se caracteriza por la vacuolización y alargamiento de las células de las vesículas e incremento de los lóculos, y se considera como fase de crecimiento lineal; en la fase III se presenta una reducción marcada en la tasa de crecimiento, indicando la entrada a la etapa de maduración del fruto (Burns *et al.*, 1992).

Durante el crecimiento inicial del fruto (fase I), el mesocarpio se encuentra dividido en mesocarpio externo, compuesto por células pequeñas, poco vacuoladas, paredes delgadas y abundante citoplasma, el cual es considerado como un meristemo activo que origina células hacia el interior, y en mesocarpio interno, compuesto de células de mayor diámetro, con paredes que se van engrosando

hacia el final de esta fase. Antes de antesis, las vesículas se inician como primordios a lo largo de la superficie adaxial de la pared del endocarpio. Las vesículas surgen como resultado de divisiones anticlinales y periclinales de células epidérmicas y subepidérmicas del endocarpio (Burns *et al.*, 1992).

La duración de la segunda fase de desarrollo del fruto depende de la variedad, que oscila entre 2 y 3 meses para variedades precoces y más de 5 para variedades tardías. En este período, cesa la actividad meristemática de las vesículas en el endocarpio y sus células se vuelven altamente vacuoladas, y alcanzan su máxima longitud y volumen (Burns *et al.*, 1992). En términos absolutos y relativos, el crecimiento en tamaño durante la fase II se debe principalmente al crecimiento de los segmentos. Al respecto, Burns *et al.*, (1992) describe que al final de la fase I, el eje central y los segmentos ocupan solo el 5% del volumen total del fruto, mientras que al final de la fase II, representan el 58% del volumen y el 67% del peso fresco del fruto.

En la fase de maduración del fruto (fase III), la elongación celular se detiene, hay acumulación de sólidos solubles especialmente azúcares y compuestos nitrogenados y los ácidos libres disminuyen como consecuencia de su dilución y metabolización (Burns *et al.*, 1992).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Condiciones generales del experimento**

##### **3.1.1. Ubicación del experimento**

El estudio se realizó en una huerta de toronja ubicada en la hacienda “Las Anácuas” del Municipio de General Terán N.L, México, con coordenadas geográficas: 25° 18′ 38″ latitud norte y 99° 35′ 25″ longitud oeste y una altitud de 217 msnm. La precipitación media anual en la región es de 550 mm y la temperatura media anual es de 23°C con temperaturas máximas que llegan a 45°C durante el verano y mínimas por debajo de los 0°C (en ocasiones baja a -7°C) durante el invierno, con una humedad relativa promedio de 62%, con lluvias fuertes en agosto, septiembre y octubre (Apéndice 1).

##### **3.1.2. Material biológico**

EL estudio se llevó a cabo en una huerta de toronja (*Citrus paradisi Macf*) variedad Río Red, injertado sobre patrón agrio (*Citrus aurantium* L.), con 17 años de edad, a una densidad de plantación de 250 árboles por hectárea (8 m entre hileras y 5 m entre árboles).

##### **3.1.3. Diseño experimental**

El experimento se realizó en árboles con cosecha abundante (año “on”) y árboles con cosecha escasa (año “off”). El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con un arreglo factorial  $2^4$  con 16 tratamientos y 3 repeticiones.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijklm} = \mu + T_j + A_k + GA_3l + U_m + (TA)_{jk} + (TGA_3)_{jl} + (TU)_{jm} + (TAGA_3)_{jkl} + (TGA_3U)_{jlm} + (TAU)_{jkm} + (AGA_3)_{kl} + (AU)_{km} + (AGA_3U)_{klm} + (GA_3U)_{lm} + (TAGA_3U)_{jklm} + e_{ijklm}$$

$i = 1, 2, \dots$ , repeticiones;  $j = 1, 2, \dots, a$ ;  $k = 1, 2, \dots, b$ ;  $l = 1, 2, \dots, c$ ;  $m = 1, 2, \dots, d$ .

$a = 2$ ,  $b = 2$ ,  $c = 2$ ,  $d = 2$ .

Donde:

$Y_{ijklm}$  es la observación en el nivel  $j$  del tipo de árbol, nivel  $k$  de anillado de ramas, nivel  $l$  de ácido giberélico ( $GA_3$ ), nivel  $m$  de urea en el tratamiento  $i$ .

$\mu$  es la media verdadera general

$T_j$  es el efecto del nivel  $j$  de tipo de árbol

$A_k$  es el efecto del nivel  $k$  de anillado de ramas

$GA_3l$  es el efecto del nivel  $l$  de  $GA_3$

$U_m$  es el efecto del nivel  $m$  de urea foliar

$TA_{jk}$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ , anillado de ramas  $k$

$TGA_3jl$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ ,  $GA_3l$

$TU_{jm}$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ , urea foliar  $m$

$TAGA_3jkl$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ , anillado de ramas  $k$ ,  $GA_3l$

$TGA_3U_{jlm}$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ ,  $GA_3l$ , urea foliar  $m$

$(TAU)_{jkm}$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ , anillado de ramas  $k$ , urea foliar  $m$ .

$AGA_3kl$  es el efecto de la interacción anillado de ramas  $k$ ,  $GA_3l$

$AU_{km}$  es el efecto de la interacción anillado de ramas  $k$ , urea foliar  $m$

$GA_3U_{lm}$  es el efecto de la interacción  $GA_3l$ , urea foliar  $m$

$AGA_3U_{klm}$  es el efecto de la interacción anillado de ramas  $k$ ,  $GA_3l$ , urea foliar  $m$

$TA_{GA_3}U_{jklm}$  es el efecto de la interacción tipo de árbol  $j$ , anillado de ramas  $k$ ,  $GA_3$   $l$ , urea foliar  $m$

$e_{ijklm}$  es el error experimental de la  $ijklm$ -ésima observación

Tratamientos:

T1: Árbol “on” Sin aplicación (testigo).

T2: Árbol “on” urea foliar 25 días antes de antesis, (25 daa), 1kg 100 L<sup>-1</sup> de agua.

T3: Árbol “on” ácido giberélico ( $GA_3$ ), 25 daa a 25ppm.

T4: Árbol “on” urea foliar 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup> +  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T5: Árbol “on” anillado de ramas, 25 días después de antesis (25 dda).

T6: Árbol “on” anillado de ramas, 25 dda + urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup>.

T7: Árbol “on” anillado de ramas, 25 dda +  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T8: Árbol “on” anillado de ramas, 25 dda + urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup> +  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T9: Árbol “off” Sin aplicación (testigo).

T10: Árbol “off” urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup>.

T11: Árbol “off”  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T12: Árbol “off” urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup> +  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T-13: Árbol “off” anillado de ramas, 25 dda.

T14: Árbol “off” anillado de ramas, 25 dda + urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup>.

T15: Árbol “off” anillado de ramas, 25 dda +  $GA_3$ , 25 daa a 25ppm.

T16: Árbol “off” anillado de ramas, 25 dda + urea foliar, 25 daa a 1kg 100 L<sup>-1</sup> +  $GA_3$ , 25 daa, a 25ppm.

La unidad experimental fue un árbol para muestreos de frutos y otro para evaluar el rendimiento y calidad de fruta al final del experimento. Para el muestreo se seleccionaron árboles sanos con competencia completa. Los análisis de muestras y toma de datos se realizaron en la Facultad de Agronomía en el Campus de Ciencias Agropecuarias de la UANL.

Las aplicaciones foliares de  $\text{GA}_3$  y urea foliar se realizaron con una aspersor manual a razón de  $7 \text{ L árbol}^{-1}$ . El anillado de ramas (5 mm de ancho) se realizó en las dos terceras partes de las ramas secundarias, utilizando una navaja de filo circular, evitando dañar el xilema.

#### **3.1.4. Condiciones de suelo**

Al inicio del experimento, se realizó un análisis de suelo en el laboratorio de la Facultad de Agronomía, Campus Marín de la UANL, en donde se analizó la textura, pH, materia orgánica, N total, P y K extraíble (Apéndice 2).

#### **3.1.5. Riego y calidad del agua**

El riego se realizó una vez al mes durante marzo a agosto, y de septiembre a febrero no se regó ya que se presentaron lluvias suficientes para mantener a los árboles en buen estado hídrico. Los riegos que se realizaron se aplicaron por gravedad suministrando agua a través de dos pozos someros a los cuales se les hizo un análisis de agua para determinar el pH, CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , B y  $\text{PO}_4$ , el análisis se realizó en el Laboratorio de Macro Micro International Inc. (MMI) Athens GA USA (Apéndice 3).

#### **3.1.6. Labores culturales**

Las labores culturales fueron igual para todos los árboles en estudio las cuales consistieron en tres rastreos, desvaradora cada dos meses o cuando la maleza alcanzó una altura aproximada de 40 cm.



### **3.1.7. Control de plagas y enfermedades**

El control de plagas y enfermedades fue igual para todos los tratamientos.

## **3.2. Medición de variables**

### **3.2.1. Diámetro (mm), número y peso (g) de frutos**

Para evaluar el número de frutos, se contaron los frutos en el árbol en tres ocasiones y se obtuvo el promedio. Para realizar los análisis de crecimiento como son, diámetro ecuatorial (mm) y peso (gr) del fruto, se tomaron 10 frutos por unidad experimental, en el mes de febrero del 2015, los cuales se analizaron en función de sus valores promedios. Para medir estas variables se utilizó una báscula digital y un vernier digital.

### **3.2.2. Porcentaje de jugo**

El porcentaje de jugo se obtuvo en base a peso de fruto y peso de jugo, para lo cual se pesaron tres frutos por unidad experimental en una báscula electrónica, los frutos se exprimieron con un extractor eléctrico, tarando previamente el peso del recipiente que contenía el jugo, la unidad de peso utilizada fue gramos.

### **3.2.3. Relación °Brix-Acidez<sup>-1</sup>**

A los frutos utilizados para obtener el peso y el diámetro, se les analizó la composición interna. Para determinar la cantidad de azúcar que contenía el jugo, se utilizó un refractómetro digital, el cual al depositar una gota de jugo en el compartimiento específico muestra el dato en la pantalla, corregido por temperatura y representa los grados brix, lo que es igual a la cantidad de sólidos solubles totales en porcentaje (SST) lo cual es igual a la cantidad de azúcar (principalmente sacarosa). El procedimiento para medir la acidez consistió en exprimir tres frutos por unidad experimental, para extraerles el jugo, del cual se

tomó una alícuota de 25 mL en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, en donde se agregaron 5 gotas de fenolftaleína (1%) y finalmente se aplicó hidróxido de sodio al 0.3125N utilizando para ello una bureta graduada, se leyó en la bureta la cantidad de hidróxido que se consumió, se consignó y con base en ese dato, se calculó la acidez en porcentaje, misma que se refiere a la cantidad de ácido cítrico anhidro (%). Con los valores de sólidos solubles y acidez se obtuvo la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , parámetro que define la palatabilidad de la fruta (Wardowski, *et al.* 1980).

La acidez (% de ácido cítrico anhidro) se determinó con base en la siguiente fórmula.

$$\text{Acidez} = \frac{[(\text{mL NaOH gastados}) (\text{Normalidad del NaOH}) (\text{meq. ác.cítrico})]}{\text{ml de muestra}} [100]$$

### 3.2.4 Rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ )

Para evaluar el rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ ), se contaron los frutos en el árbol en tres ocasiones y se obtuvo el promedio, posteriormente se hizo un muestreo de 10 frutos por unidad experimental, se pesaron y se obtuvo el promedio de peso de frutos. Los frutos evaluados cumplieron con la Norma de Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano-fruta fresca-toronja-(*Citrus paradisi* Macf)-Especificaciones (NMX-FF-039-1995-SCFI) de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), que corresponden a un diámetro de 70 a 139 mm.

El número de frutos por unidad experimental se multiplicó por el promedio del peso de frutos (kg) de su respectiva unidad experimental, por 250 árboles que tiene una hectárea y el resultado se dividió entre 1,000 para obtener el peso total en  $\text{t ha}^{-1}$ .

### **3.2.5. Análisis de concentración de carbohidratos en frutos**

Para el análisis de carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa) se tomaron muestras del endocarpio (pulpa) de frutos a los 30, 60 y 90 dda, (mayo, junio y julio del 2014 respectivamente).

La extracción, purificación y análisis de carbohidratos, se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Rivas *et al.* (2006) modificado, el cual fue de la siguiente manera.

De cada muestra se pesó (100 mg) en un microtubo de centrifuga previamente etiquetado, a cada microtubo se les añadió 1 mL de agua grado HPLC y fueron agitadas por vórtex durante 30 segundos, posteriormente las muestras fueron transferidas a baño María a 85°C en donde fueron incubadas por 1 hr. Trascurrido el tiempo, las muestras fueron centrifugadas a 15,000 g por 10 min. Finalmente, cada una de las muestras fue filtradas mediante un filtro pirinola de PVDF con 0.45 micras de diámetro de poro, el extracto filtrado fue colocado en un microtubo de centrifuga nuevo y etiquetado con la correspondiente clave de la muestra. Las muestras fueron almacenadas a -20°C hasta su análisis cromatográfico.

#### **Parámetros de la metodología por cromatografía líquida.**

Los azúcares en los extractos fueron analizados mediante un equipo de cromatografía líquida con detector de Índice de refracción, para lo cual se inyectaron 20 µL del extracto en un equipo de Cromatografía Líquida de la marca Agilen (Modelo 1120 LC). Los parámetros utilizados para la cuantificación de azúcares fueron un flujo de 0.6 mL/min, con agua grado HPLC al 100% como fase móvil, como fase estacionaria se uso una columna de la marca PHENOMENEX (Modelo Rezex RPM-Monosaccharide con 8% de  $\text{Pb}^{2+}$ , de un largo de 30 cm x 7.8 mm de diámetro interno), la temperatura del horno de columna fue de 80°C,

mientras el detector de Índice de refracción se mantuvo a una temperatura de 40°C. El tiempo total de la corrida fue de 30 min para cada muestra. Los picos fueron detectados a los 10.687 min (Sacarosa), 12.507 min (Glucosa) y 17.105 min (Fructosa). Los datos obtenidos para cada azúcar fueron nanounidades de índice de refracción (nRIU, por sus siglas en inglés), las cuales corresponden a la diferencia entre el índice de refracción de la muestra en la celda de la muestra y la fase móvil en la celda de referencia.

La conversión de nRIU a ppm se llevó a cabo mediante una ecuación de la recta, la cual fue obtenida de manera independiente para cada uno de los azúcares de interés. Para ello se cuantificó en el Cromatógrafo de Líquidos una curva patrón para cada azúcar, para realizar la curva patrón se prepararon soluciones de 500 ppm a 5,000 ppm con estándares comerciales de alta pureza, los estándares usados fueron:

- Para Sacarosa:  $\alpha$ -D-Glucosa-(1-2)- $\beta$ -D-Fructosa.
- Para Glucosa: D-(+)-Glucosa
- Para Fructosa: D-(-)-Fructosa.

**Ecuaciones de la recta obtenidas a partir de la curva patrón de cada azúcar:**

- Sacarosa:  $x = (y + 12,270)/4,038$
- Glucosa:  $x = (y + 4,000,000)/11,200$
- Fructosa:  $x = (y + 4,000,000)/9,498$

En donde “y” es igual a las nRIU dadas para cada pico en cada muestra. El valor de “x” obtenido corresponde a las ppm de cada azúcar en cada muestra.

Conversión de ppm a mg/g ps (mg de azúcar en 1 g de peso seco de muestra):

Para convertir las ppm obtenidas en el paso anterior se llevó a cabo mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Sacarosa}) (\text{Vol. de agua en "Litros" agregado a cada microtubo})}{\text{Peso de la muestra en "gramos" usado para la extracción}}$$

$$\frac{\text{Mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Glucosa}) (\text{Vol. de agua en "Litros" agregado a cada microtubo})}{\text{Peso de la muestra en "gramos" usado para la extracción}}$$

$$\frac{\text{Mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Fructosa}) (\text{Vol. de agua en "Litros" agregado a cada microtubo})}{\text{Peso de la muestra en "gramos" usado para la extracción}}$$

**Donde:**

Volumen de agua usado fue: 1 mL.

**Ejemplo:** Se divide 1 mL/1000= **0.001 L**

Peso de la muestra usado para la extracción fue: Aproximadamente de 100 mg (varió en cada muestra por lo cual el peso fue apuntado para cada uno de ellas), el peso de la muestra se divide entre 1000.

100 mg de muestra seca/1000= **0.100 g**.

Por lo tanto, las ecuaciones despejadas quedaron de la siguiente manera:

$$\frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Sacarosa}) (0.001\text{L})}{0.100\text{g}}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Glucosa}) (0.001\text{L})}{0.100\text{g}}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ ps} = \frac{(\text{ppm de Fructosa}) (0.001\text{L})}{0.100\text{g}}$$

### **3.3. Análisis estadístico**

El programa SPSS fue utilizado para realizar el análisis de varianza y para la comparación de medias de las variables en estudio, se utilizó el paquete estadístico versión 1.0 de la FAUANL elaborado por Olivares (2012). Para la comparación de valores medios se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa DMS ( $p \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características externas del fruto

#### 4.1.1. Diámetro de frutos (mm)

El análisis de varianza para el diámetro de frutos mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los frutos procedentes de árboles “off”, mostraron mayor diámetro, comparados con los frutos procedentes de árboles “on” (Figura 1). Esto confirma lo reportado por Martínez *et al.* (2012), los árboles con abundante cosecha (“on”) tienden a producir frutos de menor tamaño debido a la competencia entre ellos, en comparación con los árboles de escasa cosecha (“off”) que sus frutos son generalmente demasiado grandes y mala calidad, con un mayor número de frutos con cáscara muy gruesa (“sheepnose”).

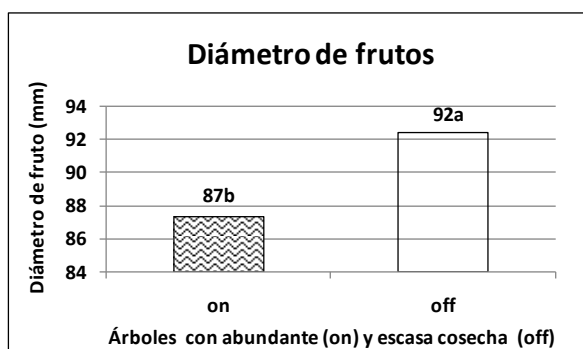


Figura 1. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de diámetro de frutos (mm), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para el diámetro de frutos, mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles de los factores “on” y “off” y anillado, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de

árboles “on” y dentro de árboles “off”. El diámetro de frutos dentro de árboles “on” fue estadísticamente similar, pero dentro de árboles “off” se comportaron estadísticamente diferentes. Los árboles “off” con anillado se comportaron estadísticamente diferentes con el resto de los tratamientos, presentando mayor diámetro de frutos (Figura 2). El anillado incrementó el diámetro de frutos en árboles “off”, mientras que en árboles “on” no tuvo efecto. El anillado de ramas en árboles con poca cosecha incrementa el diámetro de frutos debido a la poca competencia que existe entre ellos ya que son árboles con escasa cosecha (Martínez *et al.*, 2012), y a la redistribución de los carbohidratos en los frutos.

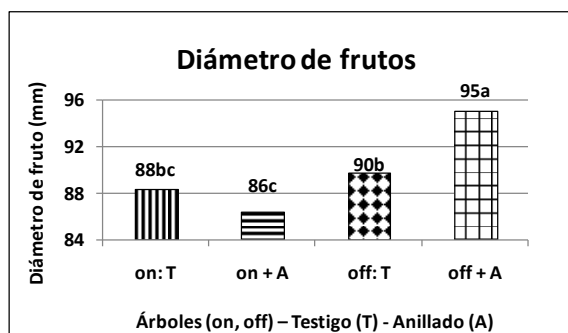


Figura 2. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de diámetro de frutos (mm) en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.1.2. Número de frutos

El análisis de varianza para el número de frutos por árbol, mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los árboles “on” presentaron mayor número de frutos, comparados con los árboles “off” (Figura 3). Los árboles con abundante cosecha se les dan el nombre de árboles “on” porque tienen mayor carga (número abundante) de frutos y a los árboles con escasa cosecha son árboles “off” con baja carga (número reducido) de frutos.



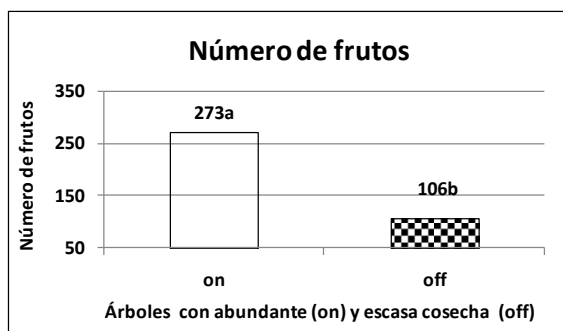


Figura 3. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para número de frutos, mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor sin (testigo) y con urea. Los árboles a los que se les aplicó urea presentaron mayor número de frutos, en comparación con el testigo (Figura 4). Estos resultados fueron similares a lo reportado por Albrigo (1999) en naranjas, por El-Otmani *et al.* (1998) en Clementinas, por Pilatti *et al.* (2009) en mandarina cv “Okitsu” y en naranja cv “New Hall”. La aplicación de urea foliar (0.5% de N) en los meses de otoño - invierno aumenta el número de frutos sin afectar el tamaño de los mismos. El incremento de la floración es debido a un estrés producido a corto plazo por una concentración de amonio o urea en los brotes y a factores de demanda nutricional (Lovatt *et al.*, 1984).

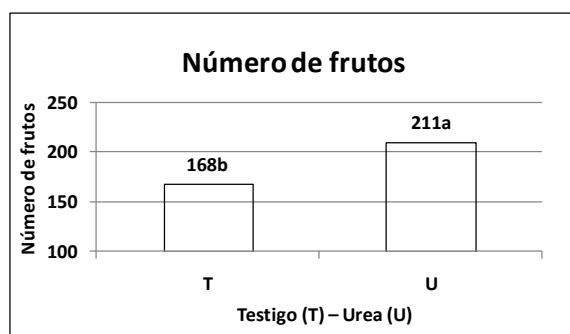


Figura 4. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles sin aplicación de urea (Testigo: T) y árboles con aplicación de urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para el número de frutos, mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado (A) y ácido giberélico ( $GA_3$ ), por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles con anillado y dentro de árboles con aplicación de  $GA_3$ . El tratamiento con anillado fue estadísticamente similar al tratamiento con  $GA_3$  (Figura 5). El anillado de ramas en toronja variedad Río Red incrementa el número de frutos ya que aumenta directamente la disponibilidad de carbohidratos (Goldschmidt, 1999; Rivas *et al.*, 2007), además se tiene evidencia que el anillado posee un efecto hormonal incrementando los niveles de GAs (Mehouachi *et al.*, 2009), alterando la relación GAs/ABA evitando la abscisión de los frutos. La aplicación de  $GA_3$  baja los niveles de ABA promotor de la abscisión de frutos y por lo tanto se presenta mayor amarre de frutos, otro efecto del  $GA_3$  es la disminución de la intensidad de floración, mejorando la asimilación de fotoasimilados y como consecuencia incrementar el número de frutos cuajados. Sin embargo, en experimentos realizados en diferentes especies de cítricos los resultados han sido muy inconsistentes, ya que dependen de varios factores como, la época de aplicación, concentración, disponibilidad de carbohidratos, y la intensidad de la floración de la especie del cítrico a tratar (Gravina *et al.*, 1997; Talón *et al.*, 1992; Rivas *et al.*, 2006).

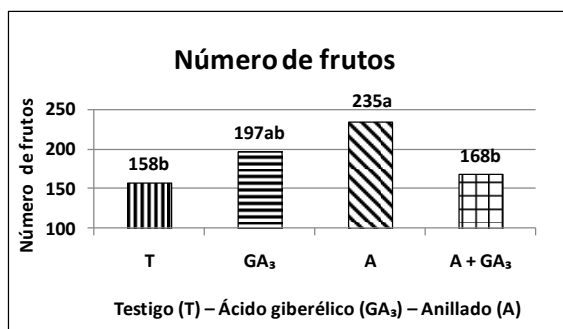


Figura 5. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de número de frutos, en árboles sin aplicación (Testigo: T) con aplicación de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.1.3. Peso de frutos (g)

El análisis de varianza para el peso de frutos (g), mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los árboles “on” presentaron menor peso de frutos, comparados con los árboles “off” (Figura 6). Esto se debe a que a mayor número de frutos su peso se reduce debido a la competencia por fotoasimilados y nutrientes (Martínez *et al.*, 2012).

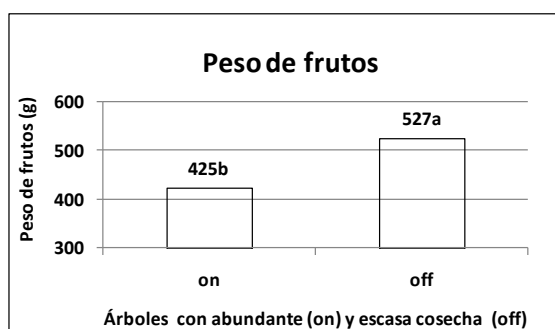


Figura 6. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de peso de frutos (g), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para el peso de frutos (g), mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado (A) y urea (U), por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles con anillado y dentro de árboles con aplicación de urea. El tratamiento con anillado más urea, se comportó estadísticamente similar al testigo y diferente a los

tratamientos al que se les realizó el anillado y se aplicó únicamente urea (Figura 7), siendo este último el de menor peso de fruto, por lo que el incremento en el rendimiento es debido al número de frutos más que al peso individual de los mismos (Martínez *et al.*, 2012).

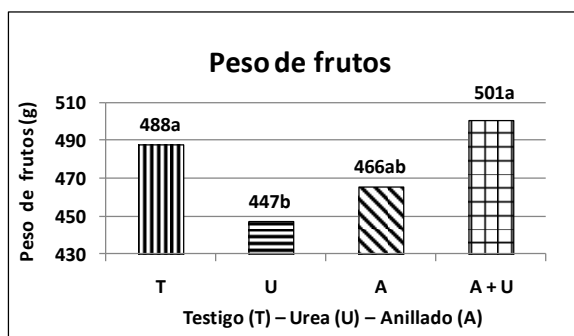


Figura 7. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de peso de frutos (g), en árboles sin aplicación (Testigo: T), con aplicación de urea (U) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.1.4. Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ )

El análisis de varianza para rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ), mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los árboles “on” presentaron mayor rendimiento, comparado con los árboles “off” (Figura 8). Esto confirma que a mayor número de frutos, mayor rendimiento pero de menor tamaño (Martínez *et al.*, 2012).

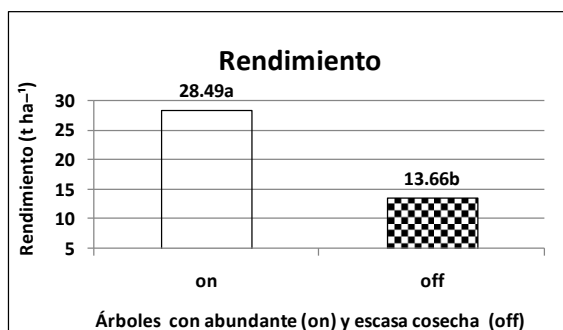


Figura 8. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ ), mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado (A) y ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles con anillado y dentro de árboles con aplicación de  $\text{GA}_3$ . El tratamiento con anillado fue estadísticamente similar al tratamiento con  $\text{GA}_3$  (Figura 9). El testigo fue el que presentó menor rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ ).

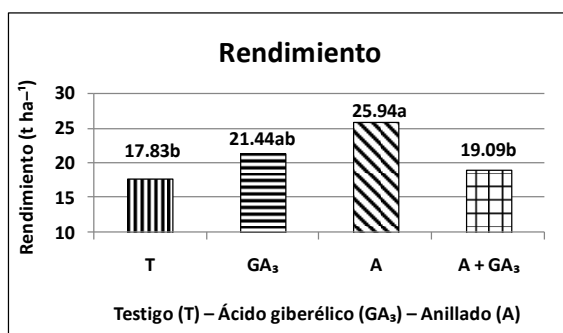


Figura 9. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ ), en árboles sin aplicación (Testigo: T), con aplicación de ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ) y árboles con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

Este resultado explica lo reportado por Rivas *et al.* (2010), donde mencionan que el anillado de ramas y la aplicación de  $\text{GA}_3$  en cítricos afecta positivamente la relación GAs y ácido abscísico, como promotor e inhibidor del cuajado de frutos respectivamente, ya que incrementó el rendimiento debido a la cantidad de frutos cosechados más que a su peso individual.

## 4.2. Características internas del fruto

### 4.2.1. Porcentaje de jugo

El análisis de varianza para el porcentaje de jugo (%), mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los árboles “on” presentaron mayor porcentaje de jugo, comparado con los árboles

“off” (Figura 10). A pesar de que los frutos de los árboles “off” son más grandes y más pesados no significa que tengan más jugo, ya que por lo general el espesor del albedo (cáscara) es mayor por lo que se reduce el tamaño de la pulpa (Martínez *et al.*, 2012).

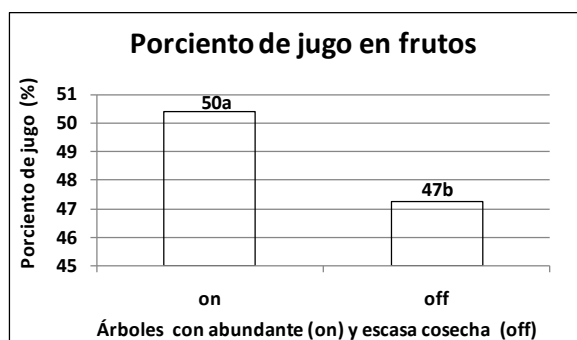


Figura 10. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), del porciento de jugo en frutos (%), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para porcentaje de jugo en frutos (%), mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor sin (testigo) y con urea. Los árboles a los que se les aplicó urea presentaron mayor porcentaje de jugo en frutos, en comparación con el testigo (Figura 11).

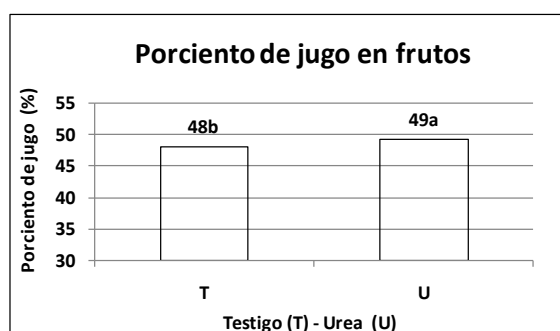


Figura 11. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de porcentaje de jugo en frutos (%), en árboles sin aplicación de urea (Testigo: T) y árboles con aplicación de urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.2.2. Relación °Brix-Acidez

El análisis de varianza para la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$  mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los

árboles “on” presentaron mayor valor de relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , comparado con los árboles “off” (Figura 12), esto pone de manifiesto que los frutos más pequeños (“on”) presentan valores más altos de la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , sin embargo ambos están dentro de la norma mexicana de calidad para consumo fresco de toronja Var. Río Red.

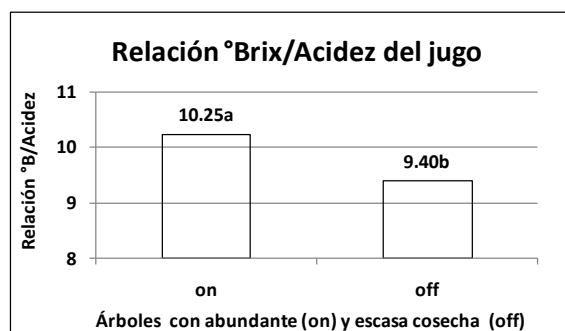


Figura 12. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$  del jugo de toronja, en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado (A) y ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles con anillado y dentro de árboles con aplicación de  $\text{GA}_3$  (Figura 13). Los árboles a los que solo se les realizó el anillado, mostraron diferencia significativa, en comparación con el resto de los tratamientos, presentando mayor relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , similar a lo reportado por Gaete *et al.* (2007) en “Clementinas” donde menciona que el anillado de ramas aumentó la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ . Mehouchi *et al.* (2009) reportan que el anillado en cítricos incrementa la concentración de carbohidratos en frutos, adelantando la maduración de estos. El anillado de ramas realizado a los 30 dda adelanta la maduración de frutos de toronja variedad Río Red, siendo este un factor de importancia económica para

los productores ya que tiene la oportunidad de realizar la venta de su producto más rápido.

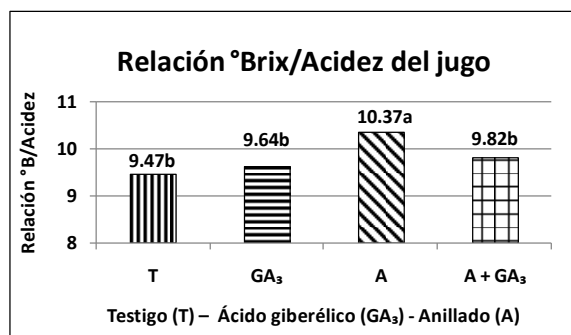


Figura 13. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$  del jugo, en árboles testigos (T), con ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y anillado (A) del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , mostró interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado (A) y urea (U), por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles con anillado y dentro de árboles con aplicación de urea (Figura 14). Se observó que el tratamiento con anillado más urea se comportó estadísticamente similar al testigo y al tratamiento el cual se le aplicó únicamente urea, siendo este último el de menor valor  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , más sin embargo todos los tratamientos están dentro de la norma mexicana para consumo en fresco ( $9.0^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ ). El tratamiento anillado más urea, fue el de mayor relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$ , por lo que al realizar estas dos acciones se adelanta la cosecha de toronja.



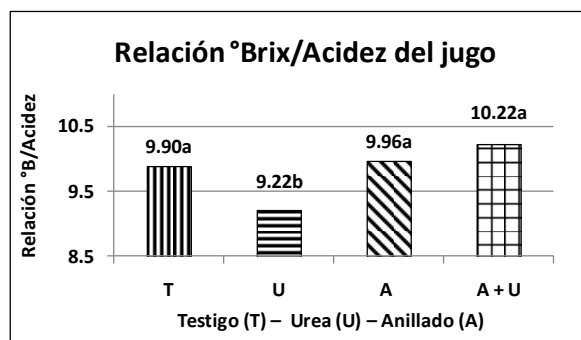


Figura 14. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la relación  $^{\circ}\text{Brix-Acidez}^{-1}$  del jugo, en árboles testigos (T), con urea (U) y anillado (A) del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

### 4.3. Concentración de carbohidratos en frutos

#### 4.3.1. Fructosa

##### 4.3.1.1. Fructosa 30 dda

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 30 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ) y el testigo. Los frutos procedentes de árboles a los que se les aplicó  $\text{GA}_3$  tuvieron mayores concentraciones de fructosa, comparados con los frutos procedentes de árboles que no recibieron este tratamiento (Figura 15). Los resultados coinciden con lo reportado por Talón *et al.* (1992) en mandarina “Clemenules”, ya que el incremento de la concentración de fructosa en toronja, se observó con la aplicación de  $\text{GA}_3$ , incrementando la capacidad sumidero del fruto para acumular este carbohidrato.

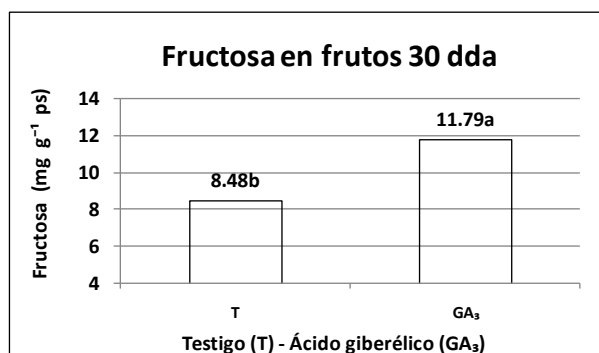
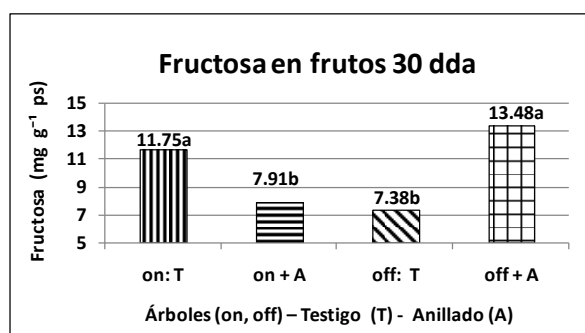


Figura 15. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 30 días después de antesis (dda), sin (Testigo: T) y con aplicación de Ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 30 dda mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores “on-off” y anillado, para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos de árboles “on” y “off”. La concentración de fructosa a los 30 dda en árboles “off”, fue estadísticamente similar a los árboles “on” sin anillar. Los árboles “off” con anillado resultaron con mayor concentración de fructosa (Figura 16). Estos resultados coinciden con lo reportado por Rivas *et al.* (2006), en mandarina “Fortune”, el anillado de ramas aumenta directamente la disponibilidad de carbohidratos en árboles “off” (escasa cosecha).



Cuadro 16. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 30 dda, mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado y ácido giberélico ( $GA_3$ ). El tratamiento con anillado más  $GA_3$  se comportó estadísticamente diferente con el resto de los tratamientos. Se encontró mayor concentración de fructosa en frutos de árboles anillados con aplicaciones de  $GA_3$  (Figura 17). La interacción entre el anillado de ramas y la aplicación de  $GA_3$ , incrementa los contenidos de fructosa en toronja variedad Río Red ya que el anillado promueve la redistribución de los carbohidratos entre los frutos en desarrollo, favoreciendo así su cuajado (Rivas *et al.*, 2010).

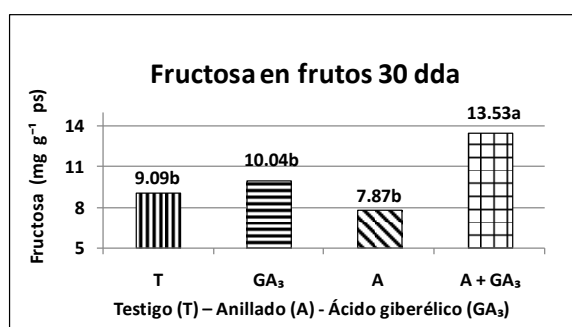


Figura 17. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $mg\ g^{-1}\ ps$ ) a 30 días después de antesis (dda), testigo (T), anillado (A) y ácido giberélico ( $GA_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.3.1.2. Fructosa 60 dda

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 60 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Las concentraciones de fructosa a 60 dda de árboles “off” mostraron diferencia significativa en comparación con los frutos de los árboles “on”. Los frutos procedentes de árboles “off”, presentaron mayores concentraciones de fructosa, comparados con los frutos procedentes de árboles “on” (Figura 18). Similar a lo observado por Laskowski, (2010) en frutos de naranja dulce (*Citrus sinensis*), variedad “Salustiana”. Un incremento progresivo en las concentraciones

de fructosa, aumentando a partir de los 60 dda. Las altas concentración de fructosa en frutos de árboles “off” (escasa cosecha) se le atribuye, a que hay menos frutos por árbol por lo que hay más concentración de carbohidratos.

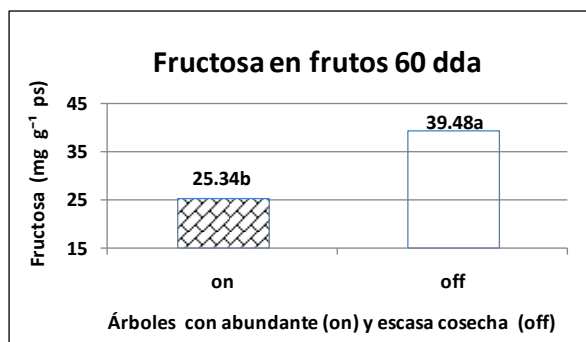


Figura 18. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la concentración de fructosa en frutos (mg g<sup>-1</sup> ps) a 60 días después de antesis (dda) en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 60 dda, mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles de los factores “on-off” y anillado, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles “on” y dentro de árboles “off”. Las concentraciones de fructosa en frutos dentro de árboles “on” y dentro de árboles “off” fueron estadísticamente similares. Los frutos procedentes de árboles “off” con anillado tuvieron mayores concentraciones de fructosa, comparados con los frutos procedentes de árboles “on” sin y con anillado (Figura 19). Similar a lo encontrado por Mehouchi *et al.* (2009), en frutos en desarrollo de mandarina Satsuma (*Citrus unshiu* (Mak) Marc.) cv. Okitsu, analizaron la fructosa y encontraron que contenían concentraciones más altas de fructosa (40%) los frutos de los árboles “off” anillados, que las frutas de las ramas de testigo.

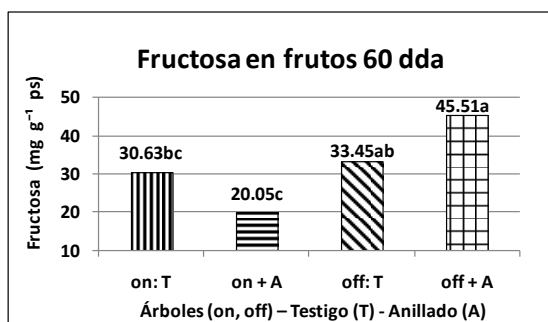


Figura 19. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (on) y escasa cosecha (off), sin (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.3.1.1. Fructosa 90 dda

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 90 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Las concentraciones de fructosa en frutos de árboles “off” a los 90 dda, mostraron diferencia significativa comparadas con las de los frutos de los árboles “on”. La mayor concentración de fructosa se observó en los frutos de los árboles “off”, comparados con los frutos de los árboles “on” (Figura 20). Esto confirma que los árboles “off” debido a que tienen menos frutos, la concentración de carbohidratos es mayor.

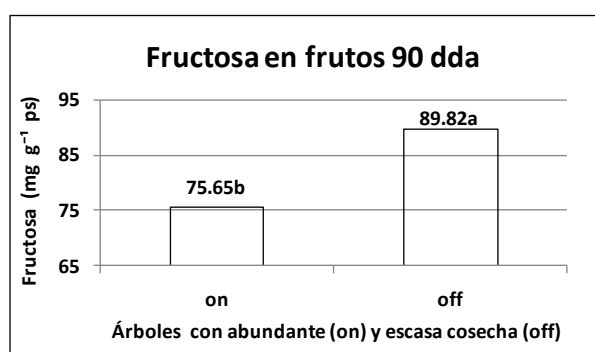


Figura 20. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (on) y escasa cosecha (off), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de fructosa en frutos a 90 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor ácido giberélico ( $GA_3$ ). Las concentraciones de fructosa en frutos de árboles con aplicación de ( $GA_3$ ), mostraron diferencias significativas comparadas con el testigo (sin aplicación de  $GA_3$ ). Los frutos de los árboles a los que se les aplicó  $GA_3$  presentaron mayores concentraciones de fructosa (Figura 21). Estos resultados evidencian que los árboles responden positivamente a las aplicaciones de  $GA_3$ , coincide con lo reportado por Talón *et al.* (1992) en mandarina “Clemenules”.

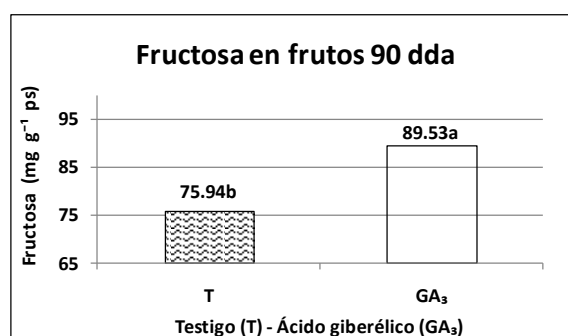


Figura 21. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de fructosa en frutos ( $mg\ g^{-1}\ ps$ ) a 90 días después de antesis (dda), sin (Testigo: T) y con aplicación de ácido giberélico ( $GA_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.3.2. Glucosa

##### 4.3.2.1. Glucosa 30 dda

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 30 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Las concentraciones de glucosa de los frutos de árboles “off” a los 30 dda, mostraron diferencia significativa en comparación con los frutos de árboles “on”. Los frutos procedentes de árboles “off”, presentaron mayores concentraciones de glucosa (Figura 22). Los resultados evidencian que los

árboles “off” responden positivamente a los tratamientos. Similar a lo reportado por Rivas *et al.*, (2006) observando un incremento de glucosa al inicio del muestreo de frutos de mandarina “Fortune”.

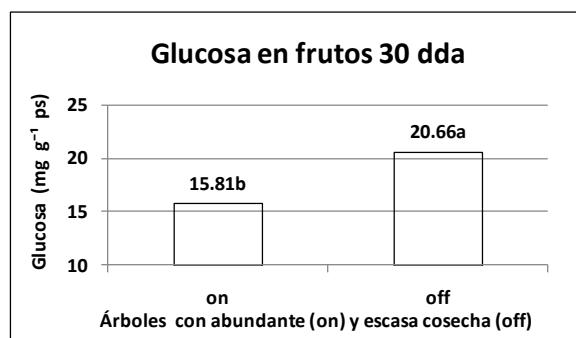


Figura 22. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 30 dda mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores tipo de árbol (“on-off”) y anillado, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles “on” y dentro de árboles “off”. El tratamiento con anillado en árboles “off” mostro diferencia significativa con el resto de los tratamientos. Los resultados muestran que los árboles “off” respondieron positivamente al anillado de ramas, incrementando las concentraciones de glucosa en frutos pequeños, similar a lo reportado por Rivas *et al.*, (2010), observando un incremento en los niveles de carbohidratos, manteniendo así un mayor ritmo de crecimiento de los frutos (Figura 23).

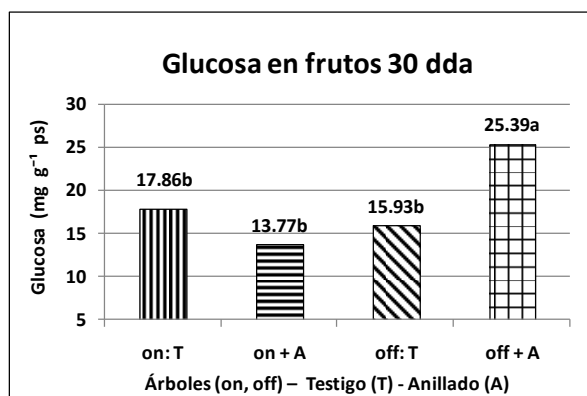


Figura 23. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en fruto ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), testigo (T) y anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 30 días después de antesis (dda) mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores anillado y urea, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos en árboles sin (Testigo: T) y con anillado. El tratamiento con urea foliar se comportó estadísticamente similar al anillado (Figura 24). Con la aplicación de urea foliar ó con anillado de ramas se obtiene un incremento de los niveles de glucosa en frutos pequeños (Rivas *et al.*, 2010).

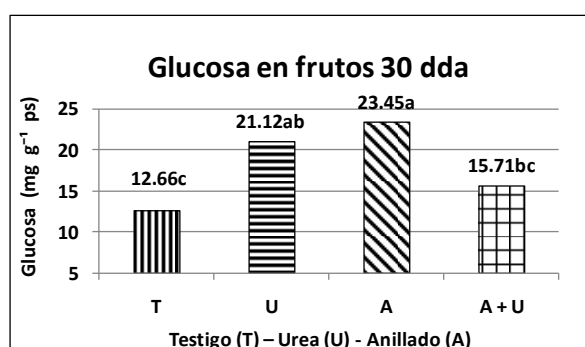


Figura 24. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 30 días después de antesis (dda), en árboles testigos (T), anillados (A) y con urea (U), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.



#### 4.3.2.2. Glucosa 60 dda

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 60 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Los frutos procedentes de árboles “off”, mostraron diferencia significativa para las concentraciones de glucosa a los 60 dda, en comparación con frutos de los árboles “on” (Figura 25). Los frutos de los árboles “off” presentaron mayor concentración de glucosa (Rivas *et al.*, 2006).

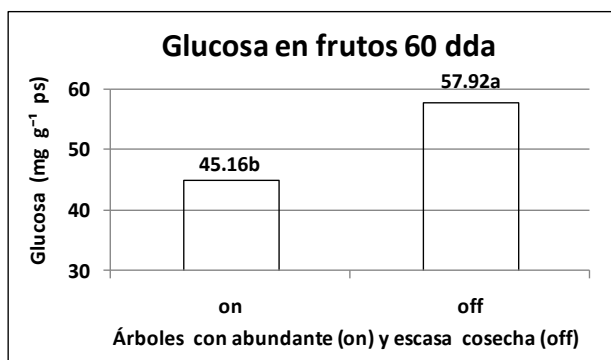


Figura 25. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa (mg g<sup>-1</sup> ps) en frutos a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.3.2.3. Glucosa 90 dda

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 90 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol “on” y “off” (Figura 26).

Se presentó un incremento de 6 veces más la concentración de glucosa (122.24 mg g<sup>-1</sup> ps) en los frutos de los árboles “off” a los 90 dda en comparación con el primer muestreo a los 30 dda (20.66 mg g<sup>-1</sup> ps).

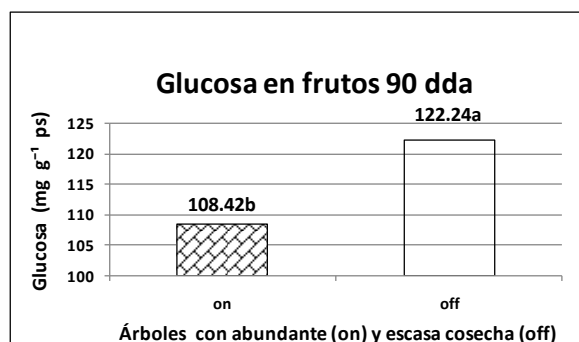


Figura 26. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (off), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 90 días después de antesis (dda), mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor anillado. Los frutos procedentes de árboles anillados, mostraron diferencia significativa en las concentraciones de glucosa en comparación con frutos de los árboles sin anillar (Figura 27). El anillado de ramas, promovió el incremento de las concentraciones de glucosa en frutos a los 90 dda (Rivas *et al.*, 2010; Agustí *et al.*, 1992).

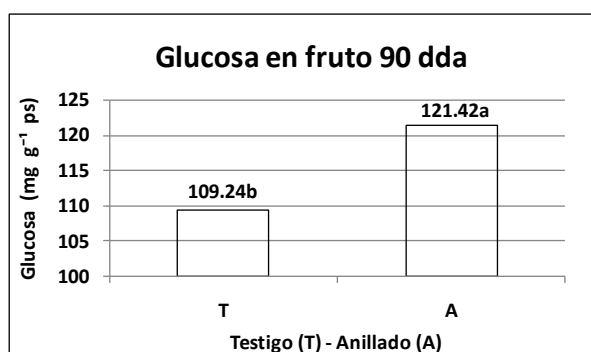


Figura 27. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), testigo (T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 90 dda, mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor  $\text{GA}_3$ . Los frutos procedentes de árboles con  $\text{GA}_3$ , mostraron diferencia significativa en las

concentraciones de glucosa en comparación con frutos de los árboles sin GA<sub>3</sub>, (Figura 28). Se observó que los árboles respondieron a las aplicaciones de GA<sub>3</sub> incrementando los niveles de glucosa (Goldschmidt, 1999).

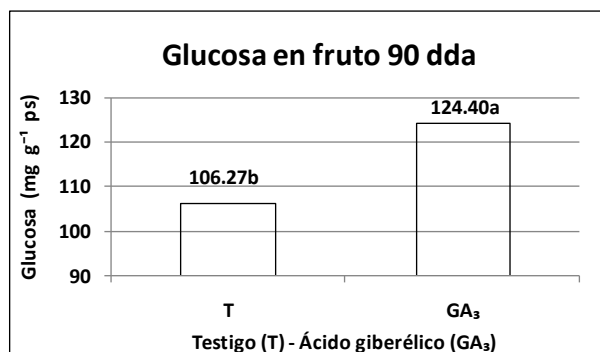
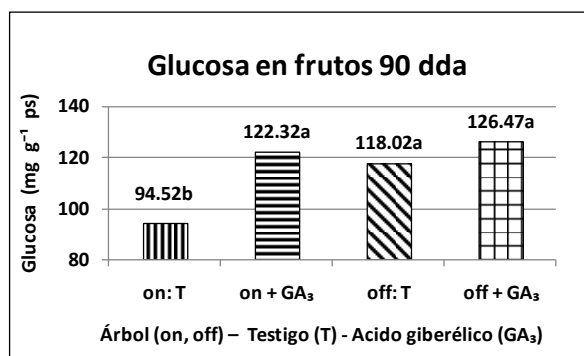


Figura 28. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), testigo (T) y con ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de glucosa en frutos a 90 días después de antesis (dda) mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores tipo de árbol (“on” y “off”) y GA<sub>3</sub>, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles “on” y dentro de árboles “off”. Se comportaron estadísticamente diferentes las concentraciones de glucosa en frutos de árboles “on” sin GA<sub>3</sub>, en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 29). El tratamiento en árboles “off” con GA<sub>3</sub>, se comportó estadísticamente similar al testigo de los árboles “off” y a los árboles “on” con GA<sub>3</sub> (Goldschmidt, 1999).



Cuadro 29. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de la concentración de glucosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), testigo (T) y con Ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

### 4.3.3. Sacarosa

#### 4.3.3.1. Sacarosa 30 dda

A los 30 dda, no se encontró sacarosa en frutos de toronja para todos los tratamientos, lo que indica que frutos muy pequeños aún no tiene sacarosa o la sacarosa es metabolizada en el albedo y desde allí los azúcares reductores (glucosa y fructosa) se difunden a las vesículas donde se acumulan, tal como lo denota Moriguchi *et al.* (1993) en diversos frutos en donde menciona que la cantidad de sacarosa en frutos pequeños se encuentran en muy bajas concentraciones.

#### 4.3.3.2. Sacarosa 60 dda

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a los 60 dda, mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol “on” y “off” (Figura 30). Los frutos procedentes de árboles “off” (escasa cosecha), presentaron mayores concentraciones de sacarosa, comparados con los frutos procedentes de árboles “on” (abundante cosecha). La hidrólisis de la sacarosa puede variar a medida que ocurre el crecimiento del fruto, metabolismo finamente

regulado por los niveles de carbohidratos en la planta (Li *et al.*, 2003, Rivas *et al.*, 2007).

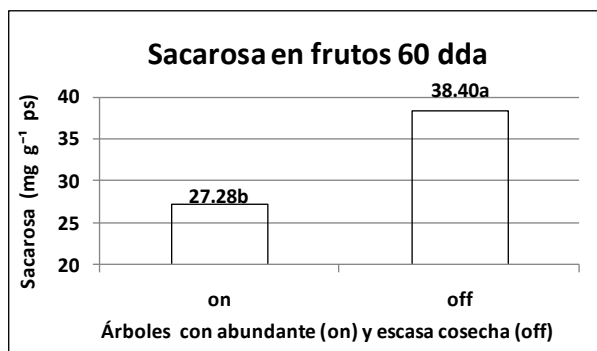


Figura 30. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 60 días después de antesis (dda), mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor anillado (sin y con). Las concentraciones de sacarosa de los árboles sin anillar se comportaron estadísticamente diferentes en comparación con los frutos de árboles anillados (Figura 31). Los frutos procedentes de árboles sin anillado (Testigo: T), mostraron mayores concentraciones de sacarosa, comparados con los frutos procedentes de árboles anillados. Se observó que el anillado no modificó las concentraciones de sacarosa en frutos a los 60 dda, similar a lo reportado por Mehrouachi *et al.*, (2009), en mandarina Satsuma cv. Okitsu.

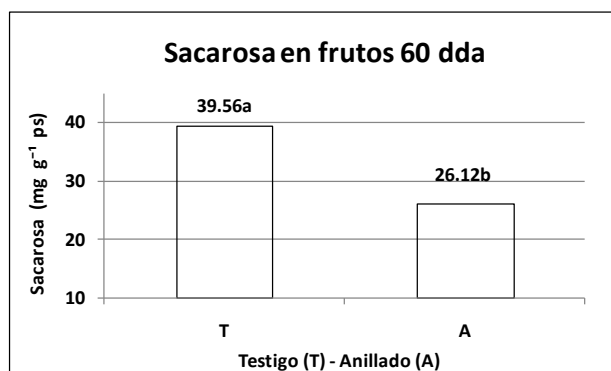


Figura 31. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a los 60 días después de antes (dda), en árboles sin anillado (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 60 dda, mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores tipo de árbol (“on” y “off”) y anillado, por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles “on” y dentro de árboles “off”. Se comportaron estadísticamente diferentes las concentraciones de sacarosa en frutos de árboles “on” con anillado, en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 32). El tratamiento con mayor concentración de sacarosa en frutos, fue en árboles “on” sin anillado (testigo), por lo tanto hasta los 60 dda, no se observó efecto del anillado en ambos tipos de árboles, en cuanto a concentración de sacarosa se refiere (Mehouachi *et al.*, 2009).

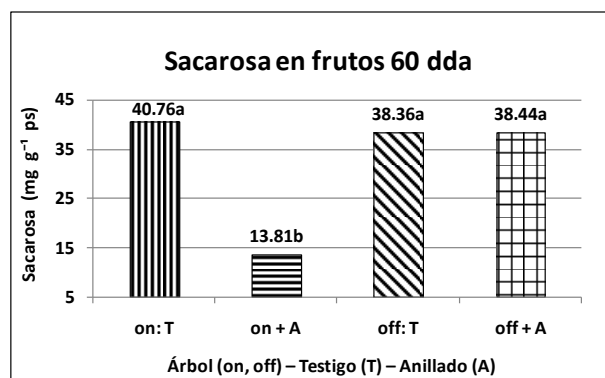


Figura 32. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 60 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin anillado (Testigo: T) y con anillado (A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

#### 4.3.3.3. Sacarosa 90 dda

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 90 dda, mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor tipo de árbol (“on” y “off”). Las concentraciones de sacarosa de los árboles “off” se comportaron estadísticamente diferentes en comparación con los frutos de árboles “on” (Figura 33). Los frutos procedentes de árboles “off”, mostraron mayores concentraciones de sacarosa, comparados con los frutos procedentes de árboles “on”. Las concentraciones de sacarosa fueron bajas al inicio de crecimiento del fruto (60 dda) y se incrementó a los 90 dda (Mehouachi *et al.*, 2009).

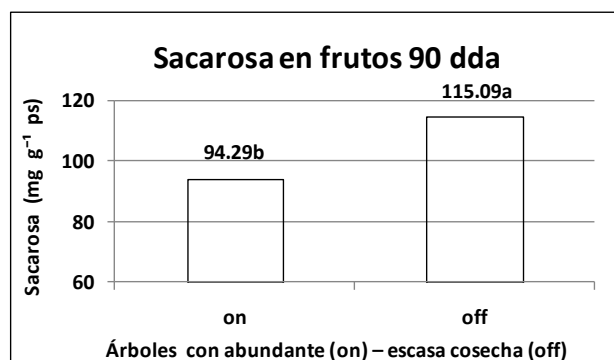


Figura 33. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 90 dda, mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor anillado (sin y con). Las concentraciones de sacarosa de los árboles con anillado se comportaron estadísticamente diferentes en comparación con los frutos de árboles sin anillado (Figura 34). Los frutos procedentes de árboles con anillado, mostraron mayores concentraciones de sacarosa, comparados con los frutos procedentes de árboles sin anillar. Se puede observar que a los 90 dda los árboles respondieron al anillado de ramas, incrementando los niveles de sacarosa en frutos, posiblemente esto se debió a que parte de la sacarosa ya no fue requerida para la formación de otros compuestos y se acumuló en las vesículas (Li *et al.*, 2003, Rivas *et al.*, 2007).



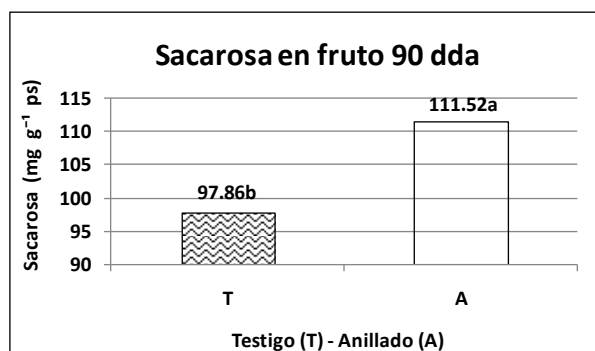


Figura 34. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles sin anillado (Testigo: T) y con anillado(A), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 90 días después de antesis (dda), mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los niveles del factor  $\text{GA}_3$  (sin y con). Las concentraciones de sacarosa de los frutos de árboles con aplicación de  $\text{GA}_3$  se comportaron estadísticamente diferentes en comparación con los frutos de árboles sin  $\text{GA}_3$  (Figura 35). Los frutos procedentes de árboles con  $\text{GA}_3$ , mostraron mayores concentraciones de sacarosa, comparados con los frutos procedentes de árboles sin  $\text{GA}_3$ . Similar a lo encontrado por Talón *et al.* (1992), en mandarina “Clemenules” donde reporta que la aplicación de  $\text{GA}_3$ , aumentó la capacidad sumidero de los ovarios y así su crecimiento.

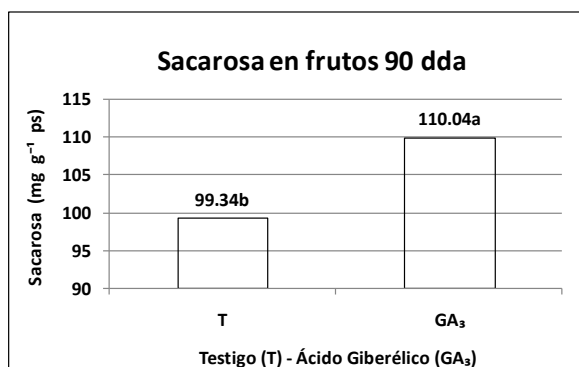


Figura 35. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles sin ácido giberélico (Testigo: T) y con ácido giberélico ( $\text{GA}_3$ ), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

El análisis de varianza para la concentración de sacarosa en frutos a 90 días después de antesis (dda) mostró una interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los factores tipo de árbol ("on" y "off") y  $\text{GA}_3$ , por lo que para estudiar esta interacción se compararon los tratamientos dentro de árboles "on" y dentro de árboles "off". Se comportaron estadísticamente diferentes las concentraciones de sacarosa en frutos de árboles "on" sin  $\text{GA}_3$ , en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 36), siendo este el de menor concentración de sacarosa. La concentración de sacarosa en frutos en árboles "off" sin  $\text{GA}_3$ , off con  $\text{GA}_3$  y on con  $\text{GA}_3$ , se comportaron iguales estadísticamente. No se observó una respuesta consistente de la aplicación de  $\text{GA}_3$  en ambos tipos de árboles ("on" y "off"), (Talón *et al.*, 1992; Ben-Cheikh, *et al.*, 1997).

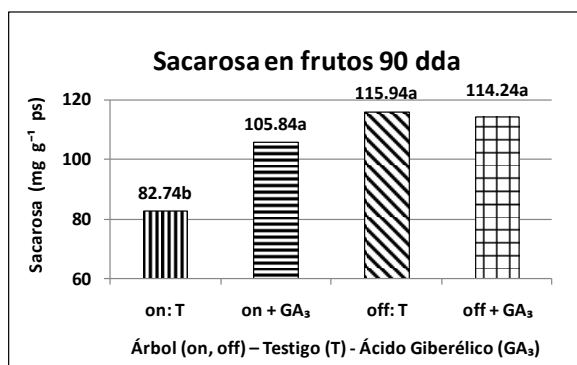


Figura 36. Comparación de medias (DMS  $p \leq 0.05$ ), de concentración de sacarosa en frutos ( $\text{mg g}^{-1}$  ps) a 90 días después de antesis (dda), en árboles con abundante (“on”) y escasa cosecha (“off”), sin ácido giberélico (Testigo: T) y con ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), del ciclo 2014-2015. Letras iguales son estadísticamente similares.

## 5. CONCLUSIONES

- 1-. El anillado de ramas incrementa el diámetro de frutos en árboles “off”.
- 2-. Las aplicaciones de urea foliar incrementan el número de frutos y porcentaje de jugo, pero retrasan su maduración y disminuye su tamaño a consecuencia del incremento en el número de frutos.
- 3-. El incremento del rendimiento se debe al número de frutos más que al peso de los mismos.
- 4-. Los frutos de los árboles “on” presentan mayor porcentaje de jugo que los frutos de los árboles “off”.
- 5-. Las concentraciones más altas de carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa), se obtuvieron en frutos de árboles con cosecha escasa (“off”).
- 6-. El anillado de ramas más la aplicación de ácido giberélico, incrementan la concentración de fructosa en los primeros 30 días del desarrollo del fruto.
- 7-. El anillado de ramas incrementó las concentraciones de carbohidratos (fructosa y glucosa) entre los 30 y 60 días de desarrollo del fruto.
- 8-. Las aplicaciones de ácido giberélico incrementaron las concentraciones de carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa) en frutos de toronja, a los 90 días de su desarrollo.
- 9-. El anillado de ramas incrementa la concentración de glucosa y sacarosa en frutos de toronja a los 90 días de su desarrollo.
- 10-. Los tratamientos no disminuyeron la alternancia de cosecha.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Agustí M., F. Martínez A., C. Mesejo., V. Almela., y J. Mariano. 2003 Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. Instituto Agroforestal Mediterráneo Universidad Politécnica Valencia. pp. 34-38
- Agustí M. y V. Almela. 1989. El cultivo de la mandarina Fortune en España. Problemas y perspectivas. Frutic. Prof., 25: 39-48.
- Agustí M. y V. Almela. 1991. Aplicación de fitoreguladores en citricultura. ED. AEDOS, Barcelona, España
- Agustí M., V. Almela., M. Juan., P. Lapica., J. Salvia., E. Alonso., I. Trenor., y S. Zaragoza. 1997. Influencia de la época de rayado en la producción del mandarino Fortune. Levante agrícola. 36 (341) 293-300.
- Agustí M., Zaragoza S., D. J. Iglesias., V. Almela., E. Primo-Millo and M. Talón. 2001. The synthetic auxin 3,5,6-TPA stimulates carbohydrate accumulation and growth in citrus fruit. Plant Growth Regulation 00: 1–7.
- Agustí M. 2003. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Agustí M., V. Almela., and J. Pons. 1992. Effects of girdling on alternate bearing in citrus. Journal of Horticultural Science. Valencia Spain. 67 (2) 203-210.
- Albrigo L.G. 1999. "Effects of foliar applications of urea or nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees". Proc. Fla. State. Hort. Soc. 112: 1-4.

- Ali A.G. and C.J. Lovatt. 1994. "Winter application of low-biuret urea to the foliage of 'Washington' navel orange increased yield". J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119: 1144-1150.
- Almeida A. F. 2003. Acumulación y movilización de carbohidratos durante el cuajado del fruto en el naranjo dulce Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Tesis. Universidad Politécnica de Valencia. España. 169 pp.
- Bangerth F. 2000. Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. Stuttgart, Germany. Kluwer Academic Publishers. Plant Growth Regulation 31: 43–59.
- Becerra S. R. & J. L. Guardiola. 1984. Inter-relationship between flowering and fruiting in sweet orange, cultivar Navelina. In: Proceedings of the International Society of Citriculture. Vol. 1. p. 190-194.
- Bellato M, P.R.C. Castro. y M. Agustí. 1998. Alternancia de producción en cítricos. Laranja, 19: 293-304.
- Bellows T.S. Jr. and C.J. Lovatt. 1989. Modelling flower development in Citrus. In: Wright C.J. (ed), Manipulation of Fruiting, pp.115-129, Butterworth & Co., London.
- Ben-Cheikh W., J. Pérez-Botella., F.R. Tadeo., M. Talón., y E. Primo-Millo. 1997. Pollination increases gibberellin levels in developing ovaries of seeded varieties of citrus. Plant Physiol., 114: 557-564.
- Benhamou L., M. El-Otmani., M. Talhi., and L. Charif. 2004. "The potencial use of GA<sub>3</sub> and urea to manipulate flowering and reduce the alternate bearing pattern of the 'Nour' clementine mandarine". 10th I.S.C. Congress Agadir.

- Borges A., M. Da Cunha Barros., E. Pardo., M. García., J. Franco., and A. Gravina. 2009. Fruit set in 'Ortanique' tangor in response to pollination and different environmental stress situations. *Montevideo Agrociencia Uruguay* vol.13 no.1.
- Burns, J., D. Achor. y E. Echeverria. 1992. Ultrastructural studies on the ontogeny of grapefruit juice vesicles (*Citrus paradisi* Macf. Cv Star Ruby). *Int. J. Plant Sci.* 153: 14 25.
- Dann I.R., P.H. Jerie., and D.J. Chalmers. 1985. Short-term changes in cambial growth and endogenous IAA concentrations in relation to phloem girdling of peach, *Prunus persica* (L.) Batsch. *Aust. J. Plant Physiol.*, 12: 395-402.
- Davenport T.L. (1990). Citrus flowering. In: Janick J (ed), *Horticultural Review*. Timber Press, Portland. Vol. 12, pp. 349-408.
- Distefano G., A. Gentile., and M. Herrero. 2011. Pollen–pistil interactions and early fruiting in parthenocarpic citrus. *Annals of Botany* 108: 499–509.
- El-Otmani M., Ait-Oubahou, A., Tadili, A., El-Hila, M., and Lovatt, C.J. 1998. “Effect of foliar urea on flowering and yield of 'Nour' clementine mandarine”. *HortScience* 33: 549.
- El-Otmani M. and C.J. Lovatt. 2004. “Effect of Gibberellic Acid, Urea and KNO<sub>3</sub> On Yield and on Composition and Nutritional Quality of Clementine Mandarin Fruit Juice”. *Acta Hort. (Ishs)* 632:149-157.
- Gaete M.P., M. Christian., y M. Francisco. 2007. Evaluación de distintas fechas de rayado para el control de la floración en Clementinas (*Citrus clementina* blanco) cv. Clemenules. Quillota may.
- Galván–Luna J. J., F. Briones–Encinia., P. Rivera–Ortiz., L. A. Valdés–Aguilar., M. Soto–Hernández., J. Rodríguez–Alcázar., and O. Salazar–Salazar. 2006. Fruit

set, yield and quality in navel orange with the application of a hormonal complex. *Agrociencia*. Vol. 1: 213-220.

Gambetta G., A. Martínez-Fuentes., O. Bentancur., C. Mesejo., C. Reig., A. Gravina., and M. Agustí. 2011. Hormonal and Nutritional Changes in the Flavedo Regulating Rind Color Development in Sweet Orange [*Citrus sinensis* (L.) Osb.]. *J. Plant Growth Regul* 31:273–282.

García-Luis A., M.E. Oliveira., Y. Bordón., D.L. Siquiera., S. Tominaga and J.L. Guardiola. 2002. Dry matter accumulation in citrus fruit is not limited by transport capacity of the pedicel. *Ann. Bot.* 90: 755-764.

García-Papí M.A., and J.L. García-Martínez. 1984. Endogenous plant growth substances content in young fruits of seeded and seedless Clementine mandarin as related to fruit set and development. *Scientia Hort.*, 22: 265-274.

Goldschmidt E.E., N. Aschkenazi., Y. Herzano., A. Schaffer., y S.P. Monselise. 1985. A role of carbohydrate levels in the control of flowering in citrus. *Scientia Hort.*, 26: 159-166.

Goldschmidt E. E. 1999. Carbohydrate supply as a critical factor for citrus fruit development and productivity. In: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 34. pp. 1020-1024.

Gómez-Cadenas A., J. Mehouchi., F. R. Tadeo., E. Primo-Millo., and M. Talón. 2000. Hormonal regulation of fruitlet abscission induced by carbohydrate shortage in citrus. *Planta*. 210, 633-643.

Gravina A. 2007. Aplicación del ácido giberélico en Citrus: revisión de resultados experimentales en Uruguay. Departamento de Producción Vegetal. *Ecofisiología de Citrus*. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay . *Agrociencia* (2007) Vol XI N° 1 pp. 57 – 66.



- Greenberg J., Y. Oren., E.E. Goldchmidt. 1994. "Mineola Tangelo: Extension of the Harvest Season and Improvement Fruit quality". Proceeding of International Society of Citriculture. Vol. 1: 456-458.
- Guardiola J. L., C. Monerri., and M. Agustí. 2006. The inhibitory effect of gibberellic acid on flowering in *Citrus*. Article first published online: 28 Apr. *Physiologia Plantarum* p. 136–142.
- Guardiola J.L. and A. García-Luis. 2000. Increasing fruit size in Citrus. Thinning and stimulation of fruit growth. *Plant Growth Regul.* 31: 121-132.
- Guardiola J.L. and E. Lázaro. 1987. The effect of synthetic auxins on fruit growth and anatomical development in Satsuma mandarin. *Scientia Hort.* 31: 119-130.
- Herrero M. 2001. Ovary signals for directional pollen tube growth. *Sex Plant Reprod.*, 14: 3-7.
- Iglesias D. J. & F. Tadeo. 2006. Carbohydrate and ethylene levels related to fruitlet drop through abscission zone A in Citrus. In: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 20, No 3. p. 348-355.
- Iglesias D.J. 2003. Fruit set dependence on carbohydrate availability in Citrus trees. In: *Tree Physiol.* Vol. 23. pp. 199-204.
- Iglesias D.J., M. Cercós, J. M. Colmenero-Flores, M. A. Naranjo, G. Ríos, E. Carrera, O. Ruiz-Rivero, I. Lliso, R. Morillon, F. R. Tadeo and M. Talón 2007. *Physiology of citrus fruiting*. Centro de Genómica, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Valencia España.
- Jordán M. y J. Casaretto. 2006. *Fisiología Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.), La Serena, Chile.

- Kazokas W.C. & J.K. Burns.1998. Cellulase activity and gene expression in Citrus fruit abscission zones during and after ethylene treatment. In: J. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 123, No 5, p. 781 – 786.
- Laskowski L., C. Monerri., A. García-Luis., y J.L. Guardiola. 2008. Vascularización del pedicelo y crecimiento del fruto de *Citrus sinensis* var Salustiana y su relación con el contenido de ácido indol acético. *Bioagro* 20: 11-20.
- Laskowski L. 2010. Determinación de carbohidratos solubles en pedicelo y fruto de *Citrus sinensis* (L) Osbeck durante el crecimiento inicial. *Interciencia*. Caracas Venezuela. Vol. 35. 5. pp. 388-392.
- Li C., J. Shi., D. Weiss., and E.E. Goldschmidt. 2003. Sugars regulate transporter gene expression in Citrus. *Bioch. Bioph. Res. Comm.* 306: 402-407.
- Lovatt C.J., S.M. Streeter., S.M. Minter., N.V. O'Connell., D.L. Flaherty., M.W. Freeman., and Goodell P.B. 1984. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. "Washington navel orange". V Proc. Int. Soc. Citric. 1:186-190.
- Mark A. B. 2000. Effects of early plant growth regulator treatments on flavonoid levels in Grapefruit. *Plant Growth Regulation* 30: 225–232.
- Martínez de la C, J., H. Rojas P., A. Gutiérrez D., E. Olivares S., y J. Aranda R. 2012. Effect of organic and synthetic fertilization in grapefruit (*Citrus paradisi Macf.*) yield and juice quality. *Journal of Horticulture and Forestry*. Vol. 4(3), pp. 61-64.
- Martínez F. A. 2010. El tiempo de permanencia del fruto en el árbol y su relación con la floración en los cítricos. Tesis Doctoral. Fonfría Valencia.
- Mehouachi J., D. Serna., S. Zaragoza., M. Agustí., M. Talón., y E. Primo-Millo. 1995. Defoliation increases fruit abscission and reduces carbohydrate levels in developing fruits and woody tissues of *Citrus unshiu*. *Plant Sci.*, 107: 189-197.

- Mehouachi J., D. J. Iglesias., M. Agustí., and M. 2009. Delay of early fruitlet abscission by branch girdling in citrus coincides with previous increases in carbohydrate and gibberellins concentrations. *Plant Growth Regul.* 58:15-23.
- Mesejo C.C. 2008. Citricultura. El cuajado del fruto. Polinización y partenocarpia. Universitat Politècnica de València.
- Mesejo C.C., S. Rosito., C. Reig., A. Martínez-Fuentes., and M. Agustí. 2011. Synthetic auxin 3,5,6-TPA provokes *Citrus clementina* (Hort. Ex Tan) fruitlet abscission by reducing photosynthate availability. Published online: 9 September. Springer Science+Business Media.
- Mesejo C.C., A. Martínez-Fuentes., C. Reig., and M. Agustí. 2008. Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. *Plant Sci.*, 175: 267–271.
- Muñoz-Fambuena N., C.C. Mesejo., M.C. González-Mas., D. J. Iglesias., E. Primo-Millo., and M. Agustí. 2012. Gibberellic acid reduces flowering intensity in sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] by repressing CiFT gene expression. Published online. Springer Science+Business Media.
- Olivares, S. E. 2012. Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo N.L. Versión 1.0 en disco compacto.
- Pérez M. & Jiménez, A. 2009. Crecimiento y abscisión del fruto de naranja “Valencia” (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en un huerto del estado Portuguesa, Venezuela. En: *Bioagro*. Vol. 21, No. 2. pp. 133 – 137.
- Pilatti R.A., V.L. DAVIS., N.F. Gariglio., M. Buyatti., & Micheloud N. 2009. Efecto de la fertilización foliar con urea sobre la floración, el cuajado de frutos y el rendimiento en cítricos. *Revista Fave. Ciencias Agrarias*. 8(2) p. 25.

- Rivas F., Y. Erner., E. Alós., M. Juan, V. Almela., and M. Agustí. 2006. Girdling increases carbohydrate availability and fruit-set in citrus cultivars irrespective of parthenocarpic ability. *J.Hort. Sci. Biotech.* 81, 289-295.
- Rivas F., M Agustí., and A. Gravina. 2007. Girdling effects on fruit set and quantum yield efficiency of PSII in two *Citrus* cultivars. *Tree Physiol.* 27: 527-535.
- Rivas F., A. Martínez-Fuentes., C.C. Mesejo. C. Reig., y M. Agustí. 2010. Efecto hormonal y nutricional del anillado en frutos de diferentes tipos de brotes de cítricos *Agrociencia Uruguay* vol.14 no.1 Montevideo.
- Ruiz R., A. García-Luis., C. Monerri., and J.L. Guardiola. 2001. Carbohydrate availability in relation to fruitlet abscission in citrus. *Ann. Bot.* 87:8 05-812.
- Ruiz, R. & J.L. Guardiola., 1994. Carbohydrate and mineral nutrition of orange fruitless in relation to growth and abscission. In: *Physiologia Plantarum*. 1994. Vol. 90. p. 27-36.
- Sanz A., R.I.C. Moner., J. González-Ferrer., and J.L. Guardiola. 1987. Changes in carbohydrates and mineral elements in citrus leaves during flowering and fruit set. *Physiol. Plant.* 69:93-98.
- Secretaria de Economía. 1995. Normatividad empresarial. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema para productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca. Toronja (*Citrus paradisi* Macf.) especificaciones.(NMX-FF-039-1995).
- Spiegel-Roy P. and E.E. Goldschmidt. 1996. *Biology of Citrus*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Takahashi N., I. Yamaguchi., T. Kono., M. Igoxi., K. Hirose., and K. Suzuki. 1995. Characterization of plant growth substances in Citrus Unshiu and their change in fruit development. *Plant Cell Physiol.*, 16: 1101-1111.

- Talón M., F.R. Tadeo., W. Ben-Cheikh., A. Gómez-Cardenas., J. Mehouchi., J. Pérez-Botella., and E. Primo-Millo. 1997. Hormonal regulation of fruit set and abscission in Citrus: classical concepts and new evidence. In: Acta Hort. Vol. 463. pp. 209-217.
- Talón M., M. Juan., J. Soler., M. Agustí., y E. Primo-Millo. 1999. Criterios de racionalización de las aplicaciones de ácido giberélico para mejorar el cuajado de los frutos cítricos. Levante Agrícola, 347: 128-133.
- Talón M., L. Zacarias., & E. Primo-Millo. 1992. Gibberellins and parthenocarpic ability in developing ovaries of seedless mandarins. In: Plant Physiol.. Vol. 99. pp. 1575-1581.
- Zacarías L., M. Talón., W. Ben-Cheikh., M.T. Lafuente., and E. Primo-Millo. 1995. Absciscic acid increases in nongrowing and paclobutrazol treated fruits of seedless mandarins. Physiol. Plant. 95, 613-619.

## 7. APÉNDICE

### 7.1. Temperaturas, precipitación y humedad relativa (2014)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Temp. Prom. (°C)	12	14.5	17.1	22.5	24.8	28.4	28.9	29.3	25.4	23.5	15.4	15.8	21.5
Temp. Min. (°C)	-0.9	0.7	2.5	5.6	9.2	19.8	19.6	20.7	18.3	8.6	2.1	3.6	9.2
Temp. Max. (°C)	29.8	33.2	35.4	40.6	37.7	40.1	39.8	38.6	37.9	33.4	29.1	27.6	35.3
Precip. Prom. (mm)	17	11.6	24.8	9.6	42	45.8	14.6	45.8	268	7.6	49.4	0	536.2 (Acum.)
Humedad relativa promedio (%)	69.9	81.1	77.8	67.3	65.5	63.7	59.9	59.5	79.1	75.1	75.4	78.8	71.1
Humedad relativa Min. (%)	14.5	17.2	16.1	12	15.6	18.8	16.8	17.6	25	18.9	24.6	22.9	18.3
Humedad relativa Max. (%)	100	99.8	98.3	97	96.4	94.5	95.6	97.1	96.5	97	98.4	98.5	97.4

INIFAP General Terán N.L.

### 7.2. Análisis de suelo

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelo (enero 2014).

Descripción	Análisis
Textura	16 % Arena 32 % Limo 52 % Arcilla
pH	8.1 (moderadamente Alcalino)
M O	2.66 % (medianamente rico)
N	0.193% (mediano)
P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	10.33 ppm (crítico)
K <sub>2</sub> O	0.08 meq 100g <sup>-1</sup> (crítico)
CE	0.66 mS cm <sup>-1</sup> (no salino)

Laboratorio de análisis de suelos de la FAUANL. ppm: partes por millón; meq: miliequivalentes y mS cm<sup>-1</sup>: milisiemens por centímetro.

### 7.3. Análisis de agua

Cuadro 2. Resultados de análisis de agua (febrero 2014).

Descripción	Análisis	Límites permisibles
pH	7.0	5-7
CE	1.75 mS cm <sup>-1</sup> (no salina)	< 1 mS cm <sup>-1</sup>
Ca	295.65 ppm	< 120 ppm
Mg	60.00 ppm	<24 ppm
K	1.10 ppm	<10 ppm
Na	43.94 ppm	< 50 ppm
NH <sub>4</sub>	1.55 ppm	< 8 ppm
NO <sub>3</sub>	2.03 %	< 2.0 %
HCO <sub>3</sub>	299 ppm	<122 ppm
SO <sub>4</sub>	891 ppm	< 90 ppm
CO <sub>3</sub>	0.0 ppm	< 100 ppm
PO <sub>4</sub>	0.0 ppm	< 3 ppm
Cl	27.21 ppm	< 20 ppm
B	0.24 ppm	< 0.05 ppm

Laboratorio de Macro Micro International Inc. (MMI) Athens GA USA

## 7.4. Equipo y materiales

- Equipo
  - Báscula digital (Marca IBM, cap. 60 kg)
  - Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)
  - Liofilizadora
  - Colorímetro marca Minolta
  - Penetrómetro manual
  - Estufa de laboratorio
  - Molino
  - Balanza de precisión
  - Báscula electrónica (Marca IBM, cap. 6 kg)
  - Extractor de jugo eléctrico (Marca General electric)
  - Refractómetro digital (Marca Atago USA., Inc.)
  - Vernier digital (Marca SURTEK)
  - Probeta graduada (mL)
  - Vasos de precipitado (mL)
  - Frasco Erlenmeyer de 25 mL.
  - Bureta
  - Pipetas de 25 mL
  - Gotero
  - Tijeras para rayado de ramas
- Productos y reactivos
  - Fenolftaleína (%)
  - Hidróxido de sodio (0.3125 N)
  - Agua destilada
  - Ac. Giberélico
  - Urea